

# KORELACIJA IZMEĐU SPASTIČNOSTI DONJIH EKSTREMITETA I BRZINE HODA KOD OSOBA S PARAPAREZOM

---

Vuković, Marin

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Applied Sciences Ivanić-Grad / Veleučilište Ivanić-Grad**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:258:223887>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-05**



Repository / Repozitorij:

[Repository of University of Applied Sciences Ivanić-Grad](#)



**VELEUČILIŠTE IVANIĆ-GRAD**

**SPECIJALISTIČKI STRUČNI DIPLOMSKI STUDIJ: PROTETIKA,  
ORTOTIKA I ROBOTIKA U FIZIOTERAPIJI**

Magistar fizioterapije; mag. physioth.

**Marin Vuković**

**KORELACIJA IZMEĐU SPASTIČNOSTI DONJIH  
EKSTREMITETA I BRZINE HODA KOD OSOBA S  
PARAPAREZOM**

Diplomski rad

**Mentor:**

**Nikola Dobrijević mag. physioth., pred.**

**VELEUČILIŠTE IVANIĆ-GRAD**

**SPECIJALISTIČKI STRUČNI DIPLOMSKI STUDIJ: PROTETIKA,  
ORTOTIKA I ROBOTIKA U FIZIOTERAPIJI**

(studij za stjecanje akademskog naziva:

magistar fizioterapije)

**Marin Vuković**

# **KORELACIJA IZMEĐU SPASTIČNOSTI DONJIH EKSTREMITETA I BRZINE HODA KOD OSOBA S PARAPAREZOM**

Diplomski rad

**Mentor:**

**Nikola Dobrijević mag. physioth., pred.**

---

(Potpis studenta)

---

(Potpis mentora)

Ovim potpisima se potvrđuje da je ovo završena verzija diplomskog rada koja je obranjena pred Povjerenstvom te da je ova tiskana verzija istovjetna elektroničkoj verziji predanoj u digitalni repozitorij Veleučilišta Ivanić-Grad.

## ZAHVALE

*Zahvaljujem svojoj obitelji, posebno majci koja mi je uvijek bila potpora i najveći oslonac.*

*Zahvaljujem mentoru kolegi i dobrom prijatelju mag. Nikoli Dobrijeviću na prenesenom znanju, uloženom vremenu, stalnoj podršci i stručnim savjetima bez kojih izrada ovog rada ne bi bila moguća.*

*Posebno zahvaljujem zaručnici Ani na stalnoj podršci i razumijevanju tijekom cijelog studiranja. Njezina ljubav, razumijevanje i podrška pružili su mi snagu da prevladam sve izazove. Hvala Ti!*

## KORELACIJA IZMEĐU SPASTIČNOSTI DONJIH EKSTREMITETA I BRZINE HODA KOD OSOBA S PARAPAREZOM

### SAŽETAK

Ozljeda kralježnične moždine, spinalna ozljeda (*eng. spinal cord injury – SCI*) može biti uzrokovana traumatskim i netraumatskim čimbenicima, a ozljede mogu biti potpune ili nepotpune. Nakon oštećenja kralježnične moždine dolazi do kaskade destruktivnih procesa koji se kasnije očituju raznim motoričkim i senzoričkim ispadima. Nepotpuna oštećenja uzrokuju djelomične ispade motorike i sensorike. Sekundarna posljedica neuromotoričkih ispada je pojava spasticiteta u raznim mišićnim skupinama. Jedan od glavnih ciljeva pacijenta s ozljedom kralježnične moždine je povratak funkcije hoda. Senzomotorni deficit koji nastaje nakon ozljede može se manifestirati kao pareza ili plegija. Kod nepotpunih ozljeda Lokomat može poboljšati brzinu hoda, snagu mišića, raspon pokreta i mobilnost. Bobath koncept je neurofacilitacijska metoda koja se koristi u rehabilitaciji pacijenta s neurološkim deficitom. Cilj ovog istraživanja je istražiti kako spastičnost utječe na brzinu hoda i smanjenje rizika od pada kod pacijenata s ozljedom kralježnične moždine. Ispitanici će biti podvrgnuti neurofacilitacijskom tretmanu u kombinaciji s robotskim uređajem za donje ekstremitete. Provedeno istraživanje je pokazalo kako kombinirani tretman Bobath metodom i robotskim uređajem Lokomat daje pozitivne rezultate u rehabilitaciji brzine hoda i sposobnosti održavanja ravnoteže što rezultira prevencijom pada kod pacijenta s nepotpunom ozljedom kralježnične moždine. Možemo kazati da je kombinacija navedenih metoda imala pozitivan utjecaj na smanjenje spastičnosti koje je rezultiralo povećanjem brzine hoda, ali zbog relativno malog uzorka nije potvrđena statistička značajnost rezultata. Kombinirani tretman Bobath metodom i Lokomatom nije pokazao statističku značajnost koja bi potvrdila da smanjenje spastičnosti donjih ekstremiteta značajno utječe na smanjenje rizika od pada kod pacijenta s nepotpunom ozljedom kralježnične moždine.

**Ključne riječi:** neurofacilitacijski tretman, spinalne ozljede, robotski asistirana terapija za donje ekstremitete

## **CORRELATION BETWEEN SPASTICITY OF LOWER EXTREMITIES AND GAIT SPEED IN PEOPLE WITH PARAPARESIS**

### **ABSTRACT**

Spinal cord injury can be caused by traumatic and non-traumatic (inflammation, tumor processes) factors, and injuries can be complete or incomplete. After damage to the spinal cord, a cascade of destructive processes occurs, which later manifests itself in various motor and sensory outbursts. Incomplete damage causes partial motor and sensory impairments. A secondary consequence of neuromotor outbursts is the appearance of spasticity in various muscle groups. One of the main goals of a patient with a spinal cord injury is the return of walking function. The sensorimotor deficit that occurs after an injury can manifest as paresis or plegia. In incomplete injuries, Lokomat can improve walking speed, muscle strength, range of motion and mobility. The Bobath concept is a neurofacilitation method used in the rehabilitation of patients with neurological deficits. The aim of this study is to investigate how spasticity affects walking speed and reducing the risk of falling in patients with spinal cord injury. Subjects will undergo neurofacilitation treatment in combination with a robotic device for the lower extremities. The conducted research showed that the combined treatment with the Bobath method and the Lokomat robotic device gives positive results in the rehabilitation of walking speed and the ability to maintain balance, resulting in the prevention of falls in patients with incomplete spinal cord injury. We can say that the combination of the mentioned methods had a positive impact on the reduction of spasticity, which resulted in an increase in walking speed, but due to the relatively small sample, the statistical significance of the results was not confirmed. The combined treatment with the Bobath method and the Lokomat did not show statistical significance, which would confirm that the reduction of spasticity of the lower extremities significantly affects the reduction of the risk of falling in a patient with an incomplete spinal cord injury.

**Key words:** neurofacilitation treatment, spinal cord injuries, robot-assisted therapy for the lower extremities



# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
1.1. Etiologija nastanka ozljeda kralježnične moždine .....	2
1.1.1. Spinalni sindromi.....	3
1.2. Epidemiološki podaci za ozljede kralježnične moždine .....	4
1.3. Klasifikacija ozljeda kralježnične moždine.....	4
1.4. Rehabilitacija nakon ozljede kralježnične moždine .....	6
2. CILJEVI I HIPOTEZE .....	7
3. METODE ISTRAŽIVANJA .....	8
3.1. Ispitanici.....	8
3.2. Mjerni instrumenti.....	10
3.2.1. Modificirana Ashworth skala (MAS) .....	10
3.2.2. Test hodanja na 10 metara (10MWT).....	11
3.2.3. Test „ustani i idi”(TUG) .....	11
3.3. Statističke metode .....	12
4. REZULTATI.....	13
4.1. Opis stanja i razina poboljšanja kod ispitanika .....	13
4.2. Povezanost smanjenja spastičnosti i povećanja brzine hoda.....	15
4.3. Povezanost smanjenja spastičnosti i smanjenja rizika od pada.....	16
4.4. Povezanost smanjenja rizika od pada i povećanja brzine hoda.....	17
4.5. Stupanj oporavka pacijenta s obzirom na vrijeme između nastanka ozljede i početka rehabilitacije .....	18
5. RASPRAVA .....	21
6. ZAKLJUČAK.....	26
7. LITERATURA .....	27
8. PRILOZI .....	32

## 1. UVOD

Ozljeda kralježnične moždine, spinalna ozljeda (*eng. spinal cord injury – SCI*) može biti uzrokovana traumatskim i netraumatskim (upalni procesi, tumorski procesi) čimbenicima, a ozljede mogu biti potpune ili nepotpune. Pod ozljede kralježnice spadaju ozljede pojedinih segmenta kralježaka, ozljede intervertebralnih diskova, ligamenta, ozljeda moždine i korijena spinalnih živaca. Ozljede kralježnične moždine možemo podijeliti na: transsekciju kralježnične moždine, ozljedu prednjeg dijela, ozljedu stražnje kolumne, Brown-Séquardov sindrom, ozljedu središnjeg dijela i ozljedu specifičnih puteva (Brinar i sur., 2019).

Ozljeda kralježnične moždine je za osobu novonastalo iznenadno stanje koje sa sobom nosi velike promjene. Takve promjene prvenstveno uzrokuju onesposobljenost u izvođenju aktivnosti svakodnevnog života koje vodi ka ovisnosti o drugoj osobi. Takve ozljede mijenjaju živote, uzorkuju stres i stvaraju veliki financijski teret kako za obitelj tako i za društvo (Khorasanizadeh i sur., 2019).

Nakon oštećenja kralježnične moždine dolazi do kaskade destruktivnih procesa koji se kasnije očituju raznim motoričkim i senzoričkim ispadima. Potpuno oštećenje kralježnične moždine uzrokuje gašenje svih motoričkih, senzoričkih i autonomnih funkcija ispod razine ozljede. Nepotpuna oštećenja uzrokuju djelomične ispade motorike i sensorike, a ispadi mogu biti bilateralni ili unilateralni ovisno o mjestu oštećenja. Jedna od sekundarnih posljedica neuromotoričkih ispada je pojava spasticiteta u raznim mišićnim skupinama. Pojava spasticiteta je najizraženija u mišićima potkoljenice, gležnja i stopala, a ta skupina mišića igra važnu ulogu u procesu lokomocije. Izraženi tonus u mišiću gastrocnemiusu uzrokuje poteškoće koje ometaju izvođenje fleksije u fazi predzamaha tijekom hoda što rezultira poteškoćama u izvođenju dnevnih aktivnosti (Duffell, Brown i Mirbagheri, 2015).

Jedan od glavnih ciljeva pacijenta s ozljedom kralježnične moždine je povratak funkcije hoda. Povratak lokomocije nakon ozljede kralježnične moždine može poboljšati kardiovaskularni kapacitet, povećati snagu i izdržljivost rada mišića i pospješiti čvrstoću kostiju. Ograničenja u

brzini hoda, izdržljivosti u kombinaciji s drugim faktorima rizika poput stepenica i neravnih površina mogu dovesti do otežane pokretljivosti pacijenta (van Silfhout i sur., 2017).

Prosječna brzina normalnog ljudskog hoda iznosi 1.3 do 1.4 m/s, a minimalna brzina koju pacijenti nakon nepotpune SCI bi trebali imati za ograničeno pokretanje i funkcioniranje je 0.44 m/s (Forrest i sur., 2014).

Senzomotorni deficit koji nastaje nakon ozljede kralježnične moždine može se manifestirati kao pareza ili plegija. Kombinacijom pareze ili plegije donjih ekstremiteta s nestabilnošću trupa i zdjelice zbog manjka proprioceptivnih informacija može doći do pada pacijenta. Posljedice padova mogu rezultirati raznim frakturama i ozljedama koje dodatno onemogućuju mobilnost što rezultira smanjenim sudjelovanjem pacijenta u aktivnostima svakodnevnog života (Khan i sur., 2019).

Neurorehabilitacija pacijenta s ozljedom kralježnične moždine je kompleksna i dugotrajna. Robotski egzoskeletni sustavi sa sustavom rasterećenja dijela težine tijela (*eng. Body-Weight Supported Treadmill Training - BWSTT*) pacijenta poput Lokomata omogućuju rani početak rehabilitacije hoda uz specifične zadatke putem biofeedback sustava. Kod nepotpunih SCI Lokomat može poboljšati brzinu hoda, snagu mišića, raspon pokreta i mobilnost (Alashram, Annino i Padua, 2021).

Bobath koncept je neurofacilitacijska metoda koja se koristi u rehabilitaciji pacijenta s neurološkim deficitom. Bobath metoda se pokazala učinkovita u rehabilitaciji hoda, poboljšanju ravnoteže i koordinacije te povratku pokretljivosti kod pacijenta s ozljedom kralježnične moždine (Besios, Nikolaos, Vassilios i Giorgos, 2019).

## **1.1. Etiologija nastanka ozljeda kralježnične moždine**

Najčešći nastanak ozljede kralježnične moždine su sudari motornih vozila, padovi s velikih i malih visina, skokovi na glavu, rekreativne ozljede i ozljede nastale uslijed nasilja. Primarne ozljede nastaju kod kompresivnih sila koje ruše integritet kralježnice i pritišću ili presijecaju kralježničnu moždinu uništavajući tako neuronske krugove i krvne žile. Primarne

ozljede pokreću niz događaja. Oštećena mikrocirkulacija uzrokuje hemoragiju i nastanak edema koji ometa normalnu opskrbu moždine. Rezultat uslijed vazospazma i tromboze je ishemija i nekroza tkiva (Witiw i Fehlings, 2015).

### **1.1.1. Spinalni sindromi**

Transsekcija kralježnične moždine nastaje poprečnim presjekom koji se u kliničkoj slici očituje gubitkom svih motoričkih, senzornih i autonomnih funkcija ispod razine ozljede. Najčešći uzrok nastanka ovakvih ozljeda je trauma, pritisak i upala. Nakon akutnog oštećenja nastaje flacidna pareza koja uzrokuje gašenje svih refleksa. Nakon mjesec dana prelazi uz spastičnu parezu s hiperrefleksijom i pojavom patoloških refleksa. Oštećenja se klasificiraju po visini oštećenja i dijelimo ih na: oštećenja iznad C7 kralješka, u području C7 kralješka, oštećenje u području torakalnog i lumbalnog segmenta (Brinar i sur., 2019).

Brown-Sequardov sindrom nastaje transverzalnim oštećenjem polovice kralježnične moždine. Kod akutne faze može nastati potpuni gubitak svih funkcija ispod razine ozljede, ali neke od funkcija se vrate nakon vremena. Za ovaj tip ozljede je tipičan ispad motoričke funkcije koja se očituje hemiparezom ovisno o razine ozljede. Isto tako dolazi do gubitka osjećaja za vibracije, bol i temperaturu na kontralateralnoj strani (Brinar i sur., 2019).

Kod oštećenja anteriornih puteva kralježnične moždine dolazi do ispada motoričkih funkcija koje se ovisno o razini ozljede očituju obostranom mišićnom slabošću, najčešće kao parapareza ili paraplegija. Oštećenje spinothalmičkog puta se reflektira kao nemogućnost prepoznavanja bolnih podražaja i temperature. Za oštećenja u središtu kralježnične moždine karakterističan je disocirani ispad. Dolazi do ispada osjeta za prijenos boli i temperature, ali uz očuvanost puta koji prenosi osjećaj za vibraciju i propriocepciju. Oštećenja stražnjih puteva uzrokuju ispad osjeta za vibraciju, propriocepciju i fini dodir (Brinar i sur., 2019).

## 1.2. Epidemiološki podaci za ozljede kralježične moždine

Epidemiološki podaci za ozljede kralježične moždine variraju od države do države. U posljednjih dvadeset godina podaci za SCI su se uvelike promijenili. Generalno gledajući najčešći uzrok SCI u svim zemljama su sudari motornih vozila i padovi s visina. Incidencija pojave SCI ovisi o zemlji ili regiji, s tendencijom povećanja svake godine. Postoji statistički značajna razlika u broju muških pacijenata naspram ženskih u svim zemljama ili regijama. Cervikalna razina kralježnice je razina koja je najčešće ozljeđivana. Najčešći ishodi nakon ozljeda su tetrapareze ili tetraplegije što je i očekivano s već spomenutim razinama ozljeda (Kang i sur., 2019).

Istraživanje populacije koja su provedeno u Italiji u razdoblju od deset godina pokazuje kako je incidencija SCI otprilike 27 slučajeva na 1 milijun stanovnika. Prosječna starost je 59 godina, a muškarci prednjače sa 68 % naspram žena. Cervikalna razina ozljede je zauzimala 52 %, a glavni uzrok su bile prometne nesreće (Barbiellini, Salmaso, Bellio i Saia, 2022).

U zemljama Zapadne Europe i SAD incidencija SCI iznosi od 15 do 39 slučajeva na milijun stanovnika godišnje. Omjer muškaraca naspram žena je 3:1. Najčešće posljedice su tetraplegija i paraplegija s povećanom tendencijom ozljede starijih pacijenata. Stopa smrtnosti nakon SCI izravno je povezana s dostupnošću i kvalitetom primarne zdravstvene zaštite kao i mogućnostima rehabilitacije nakon ozljede (Thietje i Hirschfeld, 2017).

Treba naglasiti kako u Republici Hrvatskoj ne postoji registar osoba s ozljedom kralježične moždine.

## 1.3. Klasifikacija ozljeda kralježične moždine

Generalno, ozljede kralježične moždine se dijele na potpune i nepotpune. Ono što je bitno je prisutnost motoričke i senzoričke funkcije u najdaljem djelu kralježične moždine koje se ustanove kliničkim pregledom. „Poštada sakralnog dijela“ (*eng. sacral sparing*) je termin koji se koristi u opisu očuvanosti motoričke i senzoričke funkcije sakralnog dijela kralježnice. Termin označava očuvanost laganog dodira u području dermatoma S4-S5 i prisutnost voljne

analne kontrakcije. Kod potpunih ozljeda te senzacije ne postoje dok su kod nepotpunih ozljeda očuvane. Ozljeda leđne moždine može ozbiljno narušiti ili potpuno prekinuti provođenje senzornih i motoričkih informacija. Prilikom sustavnog pregleda dermatoma i miotoma kliničari određuju zahvaćene segmente kralježnične moždine (Burns i sur., 2021).

Američka udruga za ozljede kralježnične moždine (*eng. American Spinal Injury Association – ASIA*) je razvila univerzalnu internacionalnu klasifikaciju za ozljedu kralježnične moždine koja se temelji na standardiziranoj senzomotoričkoj procjeni pacijenta. Ljestvica uključuje motorički i senzorički pregled kako bi se odredili senzomotorički ispadi na obje strane tijela, razina i potpunost ozljede (Kirshblum i sur., 2014).

ASIA skala oštećenja (Tablica 1.) je klinički instrument bodovanja za ozljede kralježnične moždine koji je najzastupljeniji i najviše korišten u svijetu (Burns i sur., 2021).

*Tablica 1. ASIA skala oštećenja. Izvor: sistematizacija autora prema Burns i sur., 2021.*

Ocjena	Vrsta ozljede	Opis ozljede
<b>A</b>	<b>Kompletna</b>	Nema očuvane senzoričke i motoričke funkcije sakralnih segmenta S4-S5.
<b>B</b>	<b>Senzorički nepotpuna</b>	Senzorička funkcija očuvana ispod razine ozljede i očuvanost sakralnog segmenta S4-S5. Motorička funkcija nije očuvana.
<b>C</b>	<b>Motorički nepotpuna</b>	Motorička funkcija očuvana ispod razine ozljede. Više od polovice ključnih mišićnih skupina ispod razine ozljede ima ocjenu 3 ili niže prema manualnom mišićnom testu.
<b>D</b>	<b>Motorički nepotpuna</b>	Motorička funkcija očuvana ispod razine ozljede. Najmanje polovica ključnih mišićnih skupina ispod razine ozljede ima ocjenu 3 ili više prema manualnom mišićnom testu.
<b>E</b>	<b>Normalna</b>	Motorička i senzorička funkcija očuvana u svim segmentima.

## 1.4. Rehabilitacija nakon ozljede kralježnične moždine

Rehabilitaciju SCI možemo podijeliti na akutnu, subakutnu i kroničnu fazu. Kod akutne faze cilj je stabilizirati pacijentovo neurološko stanje. U ovoj fazi glavni cilj je prevencija dugoročnih komplikacija. Pasivnim vježbama preveniramo kontrakture, mišićnu atrofiju i bol kod pacijenta s kompletnim SCI. Pravilno pozicioniranje igra ključnu ulogu u održavanju pravilnih biomehaničkih odnosa kao i održanje mišićnog tonusa. Najčešća komplikacija u ovoj fazi su kontrakture. Ovisno o razini ozljede u bolesničkom krevetu treba izvoditi vježbe za aktivaciju mišića trupa. Mnoge studije su pokazale da rano započeta rehabilitacija ima ključnu ulogu u očuvanju kardiorespiratorne funkcije kao i snage mišića. Broj i intenzitet vježbi bi trebao biti individualno prilagođen svakom pacijentu i njegovom stanju. Neovisno o razini ozljede u rehabilitacijskom procesu trebaju biti uključene vježbe jačanja gornjih ekstremiteta. Elektrostimulacija mišića može biti alternativna metoda ako dođe do zamora mišića, a pozitivno utječe na smanjenje spastičnosti mišića. Primjenom hladnih obloga može se smanjiti klonus mišića. Primjenom toplih obloga može doći do povećanja elasticiteta tetiva i mišića što omogućuje lakše i kvalitetnije istezanje mišićnih skupina. Ako je moguće, pacijent treba aktivno sudjelovati u promjeni položaja svakih dva do tri sata zbog prevencije nastanka dekubitusa (Hachem, Ahuja i Fehlings, 2017).

Cilju orijentirani i funkcionalni zadatci trebaju pacijenta pripremiti za samostalno sjedenje, pokretanje po krevetu, transfer u kolica, oblačenje i slično. Stabilizacija mišića trupa i jačanje pelvitrohanterne muskulature ključna je kao priprema za ustajanje i vertikalni položaj. Ustajanje, stajanje, stajanje u razboju, stajanje uz rasterećenje tjelesne težine treba početi što ranije zbog mnogih benefita vertikalnog položaja kao što su: oporavak funkcije mokraćnog mjehura, prevencija duboke venske tromboze, prevencija osteoporoze, prevencija ortostatske hipotenzije, redukcija spazma i drugo (Nas, Yazmalar, Şah, Aydın i Öneş, 2015).

U kroničnoj fazi najvažniji cilj treba biti maksimalno samostalno funkcioniranje pacijenta u aktivnostima svakodnevnog života. Pacijent s nekompletnom SCI bi trebao moći samostalno hodati barem 50 metara s ili bez nekog pomagala. Rolatori, hodalice i štake su najčešće korištena ortopedska pomagala u kroničnoj fazi kod nekompletnih SCI. Uz rehabilitacijski proces pacijent bi se trebao sudjelovati i u nekim drugim aktivnostima poput sporta (Nas i sur., 2015).

## **2. CILJEVI I HIPOTEZE**

Cilj ovog istraživanja je bio istražiti kako spastičnosti donjih ekstremiteta utječe na brzinu hoda i kako spastičnost utječe na dinamičku ravnotežu prilikom hoda te prevenciju pada kod pacijenta nakon nepotpune ozljede kralježnične moždine.

H1: Smanjenje spastičnosti donjih ekstremiteta značajno utječe na povećanje brzine hoda kod osoba s nepotpunom ozljedom kralježnične moždine.

H2: Smanjenje spastičnosti donjih ekstremiteta značajno utječe na smanjenje rizika od pada kod osoba s nepotpunom ozljedom kralježnične moždine.



### 3. METODE ISTRAŽIVANJA

#### 3.1. Ispitanici

U istraživanje je bilo uključeno 20 ispitanika s potvrđenom dijagnozom nepotpune ozljede kralježnične moždine i posljedičnom paraparezom donjih ekstremiteta. Svi ispitanici su biti trenutni pacijenti u procesu rehabilitacije u poliklinici Glavić Zagreb, gdje je istraživanje bilo provedeno. Suglasnost Etičkog povjerenstva Poliklinike je dobivena, a informirani pristanak svih sudionika je potpisan.

Kriteriji uključivanja ispitanika su bili: tonus donjih ekstremiteta  $\leq 2$  prema Modificiranoj Ashworth skali (MAS) i sposobnost hodanja najmanje 50 metara s ili bez pomagala. Kriteriji isključivanja su bili: tonus donjih ekstremiteta prema MAS skali  $>2$ , korištenje botulin toksina najmanje 3 mjeseca prije provođenja istraživanja, te nemogućnost samostalnog hodanja ili hodanja s pomagalom.

Ispitanici su biti podvrgnuti neurofacilitacijskom tretmanu u kombinaciji s robotskim uređajem za donje ekstremitete. Neurofacilitacijski tretman trajao je sat vremena, dok je tretman robotskim uređajima za donje ekstremitete trajao 2 sata dnevno, 5 dana u tjednu. Ispitanici su provodili tretman robotskim uređajima za gornje ekstremitete 2 sata dnevno, 5 dana u tjednu.

Na početku istraživanja, tonus donjih ekstremiteta, izmjeren je korištenjem MAS skale. Prosječna brzina hoda izmjerena je Testom hoda na 10 metara (*eng. 10 meter walk test- 10MWT*) i dinamička ravoteža u hodu Testom „ustani i idi“ (*eng. Timed up and go – TUG*).

Bobath koncept je individualizirani terapijski pristup temeljen na najnovijim saznanjima iz područja neuroznanosti i neuropatofiziologije. Cilj koncepta je optimizacija oporavka pokretanja kod osoba s neurološkim smetnjama. Funkcionalna analiza pokretanja uzima u obzir utjecaj senzornih informacija na interakciju posturalne kontrole, selektivnog pokreta i kognitivnih procesa u ljudskom tijelu. Tretman je usmjeren na razvijanje posturalnih mehanizama koji direktno utječu na lokomociju. Facilitacijom ključnih točaka utječemo na senzorne informacije koje se dobivaju terapijskim handlingom, korištenjem okoline i verbalnim uputama (Michielsen, Vaughan-Graham, Holland, Magri i Suzuki, 2019).

Navedenom metodom se nastoji utjecati na ključne aspekte povratka funkcije hoda. Esencijalni aspekti hoda koje facilitacijom želimo postići su: mogućnost ostvarivanja kontakta petom, prihvaćanje težine u ranoj fazi oslonca, mogućnost odizanja pete od podloge u završnoj oslonca fazi, sposobnost sinkronizirane aktivacije fleksora i ekstenzora, sposobnost kontrole zdjelice i rotacije trupa. Svime navedenim nastojimo utjecati na aktivaciju senzomotoričkog korteksa, malog mozga i bazalnih ganglija. Ova područja su uključena u aktivaciju spinalnog lokomotornog CPG-a, održanju dinamičke ravnoteže prilikom lokomocije, adaptaciji ekstremiteta na razne uvjete i sposobnosti lokomocije prilikom izvođenja nekog drugog funkcionalnog zadatka (Raine, Meadows i Lynch-Ellerington, 2013).

Lokomat (Slika 1.) je robotski egzoskeletni uređaj koji se koristi za rehabilitaciju hoda kod pacijenata s neurološkim poremećajima. Uređaj ima potpuno prilagodljive robotske koje se pričvršćuju na noge pacijenta. Uređaj facilitira hod na pokretnoj traci tako što djelomično rasterećuje težinu pacijenta što poboljšava posturalnu kontrolu i uspostavlja sigurno okruženje za rehabilitaciju. Kako bi se održao aktivno sudjelovanje i motivacija pacijenata, Lokomat uključuje biofeedback u stvarnom vremenu putem interaktivnih igara. Razina rasterećenja se može individualno prilagoditi prema općem stanju, snazi i izdržljivosti pacijenta. Dokazano je da uređaj potiče proces motoričkog učenja i neuroplastičnost živčanog sustava. Promjenom Lokomata pozitivno utječemo na povećanje posturalne kontrole i stabilnosti trupa te donjih ekstremiteta (Marchal-Crespo i Riener, 2022).

Prilikom postavljanja pacijenta na uređaj, pacijent prolazi kompletnu evaluaciju kojom se utvrđuju antropometrijski parametri, opseg pokreta i opće stanje pacijenta. Ortoze se ručno podešavaju i postavljaju na natkoljenicu i potkoljenicu. Sve mehaničke komponente ergonomski su dizajnirane kako bi se najbolje prilagodile svakom pacijentu (Baronchelli, Zucchella, Serrao, Intiso i Bartolo, 2021).

Lokomat može pozitivno utjecati na brzinu hoda, udaljenost hoda, snagu mišića, opseg pokreta nakon nepotpune SCI (Nam i sur., 2017). Isto tako, može imati pozitivan utjecaj u redukciji spasticiteta donjih ekstremiteta (Mirbagheri, 2015).



*Slika 1. Lokomat Pro*

*Preuzeo sa: <https://www.lmc-eg.com/product/hocoma-lokomat/>*

## **3.2. Mjerni instrumenti**

### **3.2.1. Modificirana Ashworth skala (MAS)**

MAS skala je klinički instrument koji se koristi za mjerenje povećanja mišićnog tonusa. Najčešće se primjenjuje kod neuroloških pacijenta i dijagnoza kao što su: moždani udar, spinalne ozljede, multipla skleroza, traumatska ozljeda mozga, cerebralna paraliza i druge. Test se izvodi tako da se pacijentov ekstremitet prvo ispruži iz položaja najveće moguće fleksije do najveće moguće ekstenzije (točka u kojoj se javlja prvi meki otpor). Nakon toga se procjenjuje modificirana Ashworthova ljestvica dok se kreće od ekstenzije do fleksije. Raspon ocjena na ljestvici je od 0 do 4. Ocjena 0 označuje da nema povećanja tonusa u mišiću. Ocjena 1 označava lagani otpor ekstremiteta na kraj testiranja dok ocjena 1+ označava minimalni otpor u ekstremitetu kroz polovicu pokreta. Ocjena 2 označava veći otpor kroz gotovo cijeli pokret.

Ocjena 3 označava znatni otpor kroz cijeli pokret, pasivno istežanje je otežano. Ocjena 4 označava rigidnost mišića kroz fleksiju i ekstenziju (Harb i Kishner, 2023).

### **3.2.2. Test hodanja na 10 metara (10MWT)**

10MWT je klinički test koji se koristi za procjenu brzine hoda u metrima po sekundi na kratkoj udaljenosti. Može se koristiti za procjenu funkcionalne pokretljivosti, hoda i vestibularne funkcije. Također, može se koristiti kod djece predškolskog uzrasta, adolescenata, odraslih i starije populacije. Test ima širok spektar primjenjivosti i koristi se kod dijagnoza poput: spinalnih ozljeda, moždanog udara, Parkinsonove bolesti, Downovog sindroma i drugih. Uvjet potreban za izvedbu testa je staza od 10 m s dodatna 2 m na oba kraja, označena trakom, za ubrzanje i usporavanje (ukupno 14 m). Staza od 14 metara označena je točkama 0, 2, 12 i 14 metara. Postoje različite standardizacije za provođenje 10MWT, na primjer, mjerenje na različitim udaljenostima (10 ili 6 m) i uključivanje ili isključivanje udaljenosti ubrzanja. U ovom istraživanju je korištena udaljenost od 6 metara. Za izvedbu testa su potrebne dvije stolice, štoperica i pomagalo za hod ako je potrebno. Ispitanik treba hodati ukupno 10 metara u svakom hodu, uključujući početnu i završnu fazu od 2 metra. Mjerenje kreće onaj trenutak kada vrh stopala pređe liniju od 2 metra i stane kada vrh stopala pređe liniju od 8 metara. Testiranja se mogu provoditi normalnom brzinom i maksimalnom brzinom hoda. Test se provodi 3 puta te se na kraj izračuna prosječno vrijeme (Thomson, Liston i Gupta, 2019).

### **3.2.3. Test „ustani i idi”(TUG)**

TUG je klinički test kojim želimo odrediti rizik od pada i izmjerili napredak ravnoteže kod sjedenja, ustajanja, posjedanja i hodanja. Test je namijenjen procjeni rizika od pada kod dijagnoza poput: moždanog udara, multipla skeroze, traumatske ozljede mozga, frakture kuka, Huntingtonove bolesti i drugih. Jedna stolica, štoperica i marker su oprema potrebna za izvedbu testa. Pacijent sjedi na stolici, ustaje na znak terapeuta te hoda 3 metra. Potom se okrene i vrati natrag do stolice i sjedne. Pacijenti se mogu koristiti raznim ortopedskim pomagalima što se

mora posebno navesti prilikom dokumentiranja. Prilikom izvođenja testa terapeut observira pacijentovu posturalnu stabilnost, hod, duljinu koraka i njihanje. Starijim odraslim osobama kojima treba 12 ili više sekundi da dovrše TUG test imaju veliki rizik od pada (Ascencio, Cieza-Gómez, Carrillo-Larco i Ortiz, 2022).

### **3.3. Statističke metode**

Svi prikupljeni kategorijski podaci prikazani su apsolutnim i relativnim frekvencijama, dok su numerički podaci prikazani aritmetičkom sredinom ili medijanom i interkvartilnim rasponom te dodatno ukupnim rasponom. Za testiranje normalnosti distribucije korišten je Shapiro Wilksov test.

Za statističku analizu korištene su standardne statističke metode. Za usporedbu kategorijskih podataka korišten je Hi kvadrat test. Za testiranje razlike numeričkih podataka između dvije zavisne skupine (ponovljeno mjerenje) korišten je neparametrijski Wilcoxon test, dok je za testiranje razlike numeričkih podataka između dvije nezavisne skupine korišten neparametrijski Mann-Whitney test. Povezanost numeričkih varijabli ocijenjena je Spearmanovim koeficijentom korelacije  $\rho$  (rho) (Petz, Kolesarić i Ivanec, 2012)

Prikupljeni podaci su prvo uneseni u tablicu u MS Office Excel (inačica 2016, Microsoft Corp, Redmond, Washington, SAD) programski alat, dok je za statističku analizu podataka korišten programski sustav IBM SPSS Statistics (inačica 24.0.0.0, IBM Corp, Armonk, New York, SAD) uz odabranu razinu značajnosti od  $\alpha=0,05$ . Sve P vrijednosti su dvostrane.

## 4. REZULTATI

U istraživanju je sudjelovao ukupno 20 ispitanika. Aritmetička sredina prosječne starosne dobi ispitanika iznosila je 46,5 godina uz standardnu devijaciju od 15,2 godina te ukupni raspon od 22 do 77 godina. Nešto je više bilo (Hi-kvadrat test,  $P = 0,11$ ) ispitanika muškog spola, njih 15, odnosno 75 % ili tri četvrtine, no ne statistički značajno više.

### 4.1. Opis stanja i razina poboljšanja kod ispitanika

Medijan prosječnog vremena od nastanka ozljede do početka rehabilitacije iznosio je 66,0 mjeseci, uz interkvartilni raspon od 48,0 do 114,0 mjeseci, te ukupni raspon od 12 do 336 mjeseci. Lijekove protiv spazma je uzimalo polovica, odnosno točno 50 % ispitanika (Hi kvadrat test,  $P > 0,99$ ).

Kod nešto manje od polovice ispitanika, kod njih devet (45 %) nije zabilježeno poboljšanje prema MAS skali (Hi kvadrat test,  $P = 0,75$ ). Među ostalih jedanaest (55 %) ispitanika njih deset je imalo poboljšanje za jedan stupanj, a jedan ispitanik je imao poboljšanje za dva stupnja na MAS skali.

Prema TUG testu kod svih ispitanika je zabilježeno značajno poboljšanje (Wilcoxon test,  $P < 0,001$ ; Hodges-Lehmann razlika u medijanima iznosi 15 sekundi). Medijan prosječnog poboljšanja (razlika između završnog i početnog mjerenja) iznosio je 10,5 sekundi, uz interkvartilni raspon od 4,0 do 28,0 sekundi, te ukupni raspon od nula do 40,0 sekundi (dok kod jedne osobe nije zabilježeno poboljšanje).

U prosjeku je bilo značajno (Wilcoxon test,  $P < 0,001$ ) poboljšanje između početnog i završnog mjerenja u svim vrstama mjerenja brzine hoda kod ispitanika (Tablica 2.), sa znatnim prosječnim vrijednostima pojedinog poboljšanja (Tablica 3.).

Vrijednosti poboljšanja su apsolutne razlike između završnih i početnih mjerenja pojedine vrste hoda ispitanika, te će one biti korištene za testiranje hipoteza u daljnjoj statističkoj analizi.

Tablica 2. Razlike u početnom i završnom mjerenju različitih vrsta hoda

Mjerenja pojedine vrste hoda		Medijan (25% do 75%) /od minimuma do maksimuma	Hodges-Lehmann razlika medijana (96%CI)	P*
Normalan hod (s)	Početno	27,5 (16 do 40)/od 6 do 70	-7 (od -12 do -5)	<0,001
	Završno	17,5 (10,5 do 22,5) /od 5 do 50		
Brzi hod (s)	Početno	20 (15 do 32) /od 5 do 65	-6,5 (od -11 do -4)	<0,001
	Završno	13 (8 do 19) /od 4 do 49		
Prosječna brzina normalnog hoda (m/s)	Početno	0,22 (0,15 do 0,38) /od 0,08 do 1	0,11 (od 0,06 do 0,17)	<0,001
	Završno	0,34 (0,27 do 0,57) /od 0,12 do 1,2		
Prosječna brzina brzog hoda (m/s)	Početno	0,30 (0,19 do 0,40) /od 0,09 do 1,2	0,17 (od 0,09 do 0,27)	<0,001
	Završno	0,46 (0,31 do 0,75) /od 0,12 do 1,5		

\*Wilcoxon test

Poboljšanje u brzini hoda je zabilježeno kod gotovo svakog pojedinog ispitanika, odnosno samo kod jedne osobe nije bilo poboljšanja. Osoba bez zabilježenog poboljšanja (imala je samo poboljšanje TUGa sa 13 na 11 sekundi) je ženskog spola, 22 godine starosti, od nastanka ozljede je prošlo 84 mjeseca, te je zabilježeno kako nije uzimala lijekove protiv spazma.

Tablica 3. Distribucije prosječnih vrijednosti poboljšanja različitih vrsta mjerenog hoda

Razlike u mjerenjima	Medijan	(25% do 75%)	Ukupni raspon
Normalan hod (s)	6,0	4,5 do 12,0	od 1 do 49
Brzi hod (s)	6,0	3,0 do 10,0	od 0 do 46
Prosječna brzina normalnog hoda (m/s)	0,07	0,05 do 0,20	od -0,1 do 0,59
Prosječna brzina brzog hoda (m/s)	0,13	0,04 do 0,32	od 0 do 0,72

#### 4.2. Povezanost smanjenja spastičnosti i povećanja brzine hoda

Rezultati analize povezanosti smanjenja spastičnosti mjerenog MAS skalom i povećanja različite mjerene brzine hoda nisu pokazali statistički značajnu povezanost. Međutim, poboljšanja su za sve četiri vrste mjerenja hoda nešto veća kod ispitanika koji su istovremeno pokazali napredak i prema MAS skali, a najveća prosječna razlika je kod povećanja brzine brzog hoda na granici statističke značajnosti (Tablica 4.).



Tablica 4. Povezanost smanjenja spastičnosti i povećanja pojedine brzine hoda

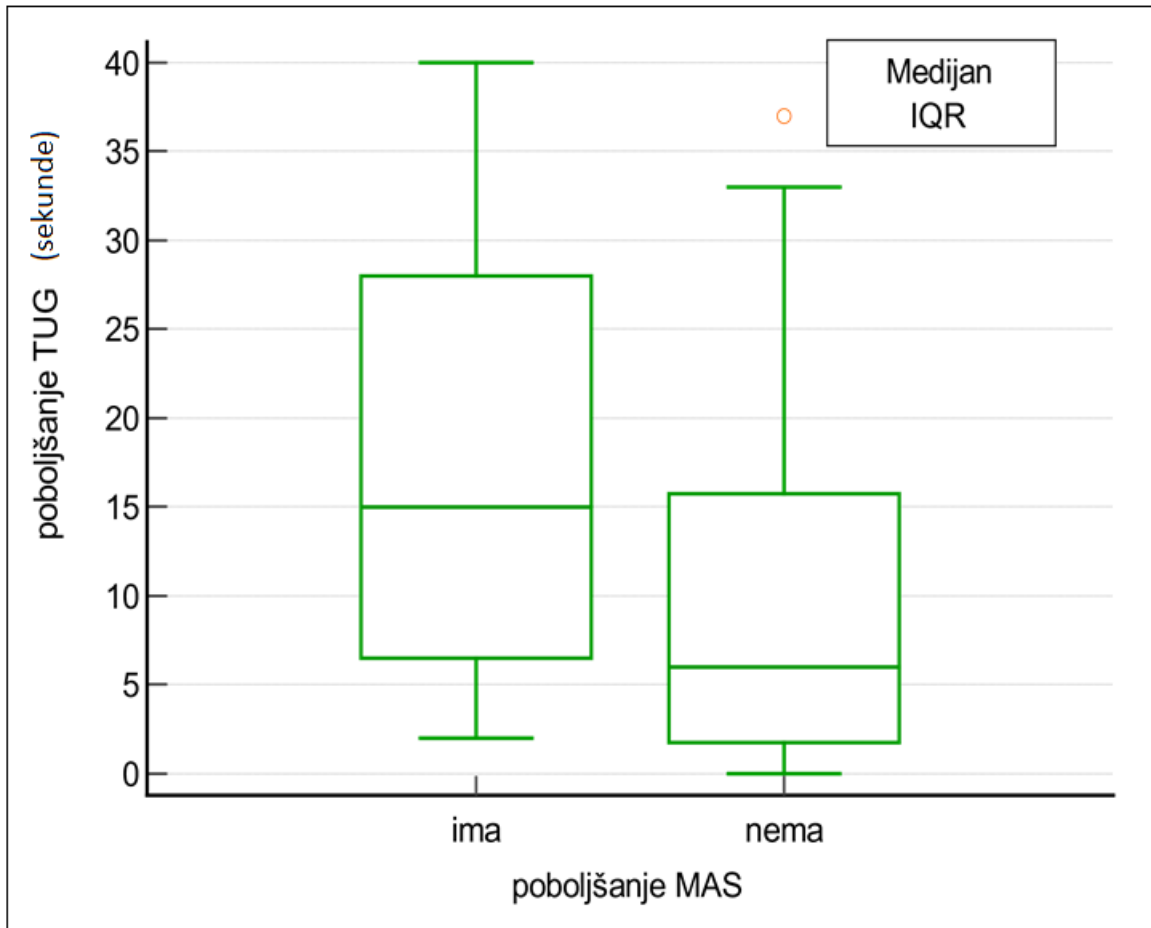
Razlike u mjerenjima	Medijan (25% do 75%)		P*
	Poboljšanje prema MAS	Bez zabilježenog poboljšanja	
Normalan hod (s)	6,0 (5,0 do 15,5)	6,0 (2,8 do 10,0)	0,36
Brzi hod (s)	8,0 (5,3 do 14,8)	3,0 (2,0 do 6,3)	0,05
Prosječna brzina normalnog hoda (m/s)	0,12 (0,07 do 0,20)	0,07 (0,04 do 0,08)	0,13
Prosječna brzina brzog hoda (m/s)	0,22 (0,10 do 0,38)	0,09 (0,03 do 0,13)	0,10

\*Mann-Whitney test

Ovi rezultati pokazuju smislenost postavljene hipoteze, međutim ona nije statistički potvrđena, a najvjerojatnije zbog matematički relativno malog uzorka.

### 4.3. Povezanost smanjenja spastičnosti i smanjenja rizika od pada

Nije dobivena značajna razlika (Mann-Whitney test,  $P = 0,14$ ) niti u rezultatima prema TUG testu između ispitanika koji su pokazali poboljšanje na MAS skali te ispitanika koji nisu pokazali poboljšanje (Slika 2.).



Slika 2. Poboljšanje prema TUG testu s obzirom na poboljšanje prema MAS skali

Iako statistički nije potvrđena povezanost smanjenja spastičnosti mjenog MAS skalom i smanjenja rizika od pada mjenog TUG testom, iz grafikona se vidi relativna razlika, pa su i ovi rezultati na tragu postavljene (druge) hipoteze i potrebno je ponoviti istraživanje na većem broju ispitanika.

#### 4.4. Povezanost smanjenja rizika od pada i povećanja brzine hoda

Očekivano, rezultati statističke analize povezanosti smanjenja rizika od pada mjenog TUG testom i povećanja brzine hoda mjenog kao promjene na početku i na kraju procesa rehabilitacije su potvrdili pozitivnu povezanost, srednjeg stupnja snage koeficijenta korelacije  $\rho$

(rho) koji iznosi iznad 0,5 osim za povezanost s poboljšanjem prosječne brzine brzog hoda koja je nešto manja i nije statistički značajna (Tablica 5.).

*Tablica 5. Povezanost smanjenja rizika od pada i povećanja brzine hoda*

Povezanost između varijabli		rho	95% CI	P*
Poboljšanje prema TUG testu	Normalan hod (s)	0,622	0,248 do 0,835	0,003
	Brzi hod (s)	0,514	0,093 do 0,779	0,02
	Prosječna brzina normalnog hoda (m/s)	0,505	0,08 do 0,774	0,02
	Prosječna brzina brzog hoda (m/s)	0,292	-0,173 do 0,650	0,21

\*Spearmanov test korelacije

#### **4.5. Stupanj oporavka pacijenta s obzirom na vrijeme između nastanka ozljede i početka rehabilitacije**

Ranije je navedeno kako je prosječno vrijeme od nastanka ozljede iznosilo 66 mjeseci, gdje je najkraće vrijeme bilo svega 12, a najduže čak 336 mjeseci. Ovdje slijede rezultati analize povezanosti napretka, odnosno pozitivne promjene prema TUG testu i MAS skali, te prema razlici u brzini mjerenja pojedine vrste hoda.

Očekivano, koeficijent korelacije  $\rho$  (rho) je negativan za sve usporedbe, odnosno veće poboljšanje odgovara manjem broju mjeseci prošlih od ozljeđivanja. Međutim, zbog relativno malog uzorka statistička značajnost je dobivena samo između vremena od nastanka ozljede

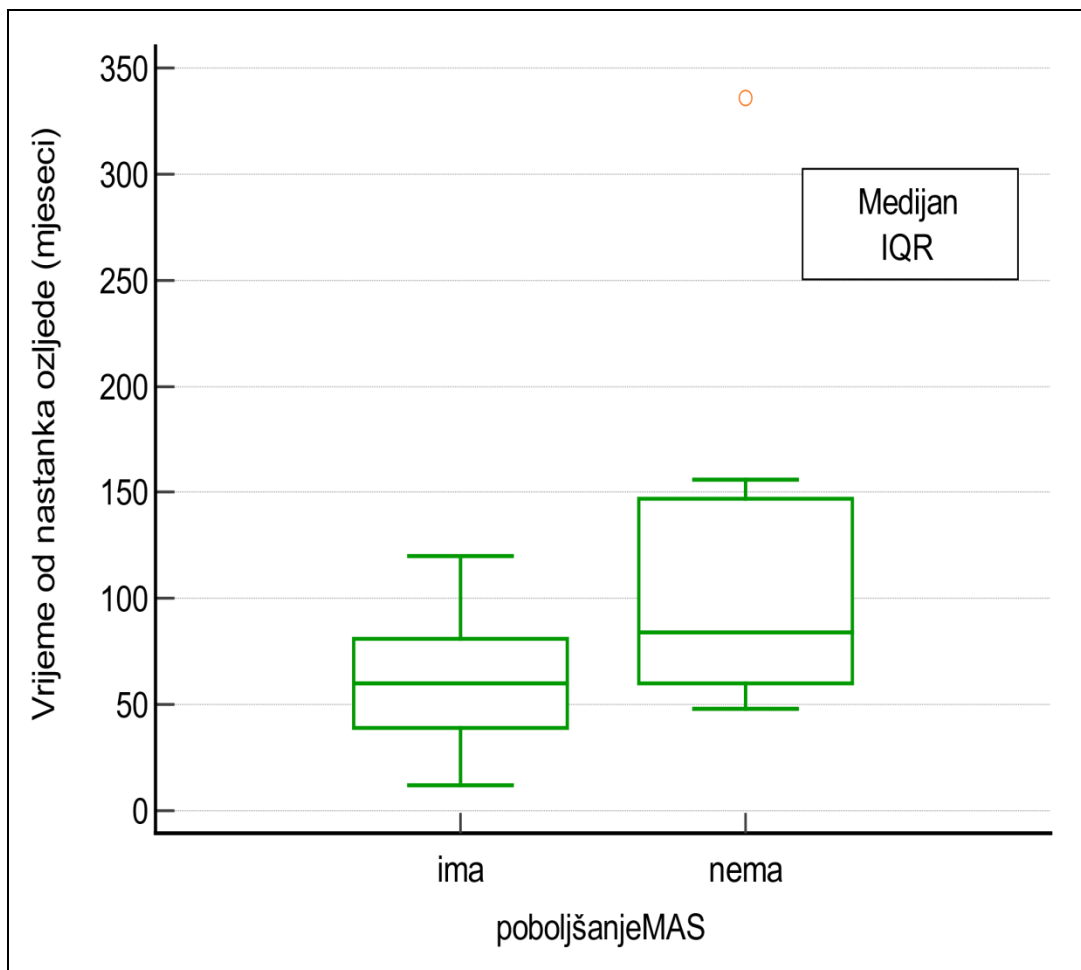
izraženog u mjesecima i promjene brzine brzog hoda mjenenog u sekundama (Spearmanov test korelacije;  $\rho = -0,501$ ;  $P = 0,02$ ) koja je negativnog smjera i srednjeg stupnja snage povezanosti (Tablica 6.).

*Tablica 6. Povezanost smanjenja rizika od pada i povećanja brzine hoda*

Povezanost između varijabli		rho	95% CI	P*
Vrijeme od nastanka ozljede u mjesecima	Poboljšanje prema TUG testu	-0,089	-0,512 do 0,368	0,71
	Normalan hod (s)	-0,291	-0,650 do 0,174	0,21
	Brzi hod (s)	-0,501	-0,772 do -0,076	0,02
	Prosječna brzina normalnog hoda (m/s)	-0,343	-0,682 do 0,118	0,14
	Prosječna brzina brzog hoda (m/s)	-0,289	-0,649 do 0,176	0,22

\*Spearmanov test korelacije

Povezanost između vremena od nastanka ozljede izraženog u mjesecima i zabilježenog poboljšanja prema MAS skali je na samoj granici statističke značajnosti (Mann-Whitney test,  $P = 0,05$ ) odnosno, iz grafikona se može iščitati kako je prosječno prošlo nešto više mjeseci od ozljede kod pacijenata koji nisu imali zabilježeno poboljšanje (Slika 3.).



Slika 3. Razlika u vremenu od nastanka ozljede s obzirom na poboljšanje prema MAS skali

## 5. RASPRAVA

Provedeno istraživanje pokazuje pozitivne promjene u brzini hoda kod pacijenta s nepotpunom ozljedom kralježnične moždine nakon intervencija koje su uključivale neurofacilitacijski tretman po Bobath konceptu u kombinaciji s robotskim egzoskeletnim uređajem Lokomatom. Iako rezultati nisu pokazali statistički značajnu povezanost, poboljšanja su vidljiva kod normalnog i brzog hoda nakon već spomenutih intervencija. Takvi rezultati djelomično potvrđuju prvu postavljenu hipotezu (H1: Smanjenje spastičnosti donjih ekstremiteta značajno utječe na povećanje brzine hoda kod osoba s nepotpunom ozljedom kralježnične moždine). Druga hipoteza (H2: Smanjenje spastičnosti donjih ekstremiteta značajno utječe na smanjenje rizika od pada kod osoba s nepotpunom ozljedom kralježnične moždine) statistički nije potvrđena, ali dobiveni rezultati ukazuju na pozitivne promjene kod smanjenja rizika od pada nakon provedenih intervencija.

Fokus lokomotornog treninga je ponovna uspostava motoričkih neuronskih krugova koji se odvijaju kroz proces neuroplastičnosti središnjeg živčanog sustava. Povećanim priljevom aferentnih informacija koji dolaze kao odgovor na facilitaciju i podražaje iz okoline aktiviramo CPG (*eng. Central Pattern Generator*) neuronske krugove koji se nalaze unutar kralježnične moždine. Iako još nije u potpunosti razjašnjena uloga takvih neurona smatra se da oni sudjeluju u procesu lokomocije, odnosno da sudjeluju u ritmičnim motoričkim radnjama poput hoda, disanja i gutanja (Di Russo i sur., 2023).

Neuroplastičnost kralježnične moždine i senzomotoričkog korteksa je moguća uz intenzivni lokomotorni trening, ali samo kod pacijenta s nepotpunom SCI. Motorički oporavak je moguć putem konvencionalnih terapijskih metoda i treningom na pokretnoj traci uz rasterećenje dijela težine tijela pacijenta (*eng. Body-Weight Supported Treadmill Training – BWSTT*). BWSTT omogućuje rani početak treninga hoda, bolju simetriju tijekom koračanja uz obavljanje nekog specifičnog zadatka. Ovakvi uređaji omogućuju pacijentu uspostavu normalnog obrasca hoda u ranoj fazi neurorehabilitacije (Nam i sur., 2017).

Istraživanje koje su proveli Di Russo i sur. (2023) potvrđuje da CPG neuronski krugovi imaju bitnu ulogu u procesu lokomocije. Autori navode kako bi bez postojanja ovih mehanizama generičko i ritmičko ponašanje tijekom hoda bilo nemoguće. Isto tako navode kako je aktivacija

CPG-a veća što je veća brzina hoda veća te da CPG neuroni imaju sposobnost inhibicije i ekscitacije ovisno o brzini i fazi hoda. CPG mehanizmi imaju važnu ulogu kod velikih brzina poput trčanja. Kod takvih aktivnosti CPG mehanizmi „rasterećuju“ mozak od stalnog nadzora nad pokretom te omogućuju mozgu da fokus usmjeri na druge senzorne informacije koje dolaze iz okoline (Arshavsky, Deliagina i Orlovsky 2016).

Dzeladini, Van Den Kieboom i Ijspeert (2014) navode kako se aktivacija CPG-a najviše pojavljuje u mišićima fleksora kuka. Premda nije točno definirano kada točno dolazi do aktivacije CPG neurona pretpostavlja se da je to kod brzine hoda između 0.8 m/s i 1.2 m/s (2.8 km/h – 4.3 km/h) (Guertin 2013). Ovakvi nalazi djelomično potvrđuju našu hipotezu (H1). Nitko od ispitanika koji su sudjelovali u istraživanju nije postigao navedenu brzinu (0.8 m/s - 1.2 m/s) na testiranjima, ali je brzina postignuta prilikom terapijskih intervencija Bobath metodom i Lokomatom.

Prilikom rehabilitacije hoda na Lokomatu, ispitanicima je nakon postavljanja na uređaj namještena brzina koja je iznosila 0.8 m/s i više. Kod rehabilitacije hoda Bobath metodom ispitanici su postizali brzine 0.8 m/s i više. Lokomocija je kompleksna motorička radnja koja uključuje rad i kontrolu više centara unutar živčanog sustava. Svi centri djeluju u sinergiji kako bi osigurali posturalnu kontrolu i kontrolu lokomocije. Lokomocija je dinamički proces koji uključuje pomicanje tijela prema naprijed, adaptirajući se tako na sve destabilizirajuće faktore koji moraju biti anticipirani kroz kontroliranu sinergiju između gornjih ekstremiteta, donjih ekstremiteta i trupa (Raine i sur., 2013).

Istraživanje koje su proveli Alcobendas-Maestro i sur. (2012) i Esclarín-Ruz i sur. (2014) je pokazalo kako akutni pacijenti, odnosno oni koji su ranije započeli proces neurorehabilitacije (3 do 6 mjeseci nakon ozljede) imaju bolje rezultate prilikom testiranja. Ispitanici su testirani testovima (Test hodanja na 10 metara i 6 minutni test hodanja). Oba istraživanja su imala  $\geq 80$  ispitanika koji su ravnomjerno raspoređeni u dvije grupe koje su tretirane konvencionalnim metodama i Lokomatom. Ispitanici koji su ranije krenuli s neurorehabilitacijom su pokazali bolje rezultate kod prosječne brzine hoda naspram onih ispitanika koji su neurorehabilitacijski proces započinjale kasnije (6 do 12 mjeseci nakon ozljede) istim metodama (Duffell, Brown i Mirbagheri 2015, Labruyère i van Hedel 2014). Ovi rezultati idu u prilog našem istraživanju koje je pokazalo da postoji statistički značajna razlika između ispitanika koji su

neurorehabilitacijski proces započeli ranije od onih koji su proces započeli kasnije. Iako statistički nije potvrđeno da smanjenje spastičnosti direktno utječe na povećanje brzine hoda sva testiranja su pokazala pozitivne promjene u povećanju brzine, a brzina brzog hoda je na granici statističke značajnosti koju možemo opravdati zbog matematički relativno malog uzorka ispitanika.

Senzomotorni deficit koji ostaje nakon SCI, poput pareze donjih ekstremiteta, dovodi do nestabilnosti mišića trupa i smanjenog osjećaja propriocepcije, a to rezultira narušenom ravnotežom prilikom ustajanja, posjedanja, stajanja i hodanja. Nemogućnost održavanja ravnoteže prilikom stajanja i hodanja je jedan od glavnih uzroka padova kod pacijenta sa SCI. Isto tako, postoje i drugi čimbenici koji pridonose padovima pacijenta nakon SCI poput spasticiteta, arhitektonskih barijera i drugih (Khan i sur., 2019).

Ravnoteža označava sposobnost održavanja centra mase i stabilnosti tijela prilikom izvođenja nekakve radnje (sjedenje, stajanje, hodanje, trčanje, penjanje uz/niz stepenice...). Oporavak sposobnosti održavanja ravnoteže je ključna komponenta u ostvarenju samostalnosti prilikom izvođenja aktivnosti svakodnevnog života. Reakcije ravnoteže sudjeluju u organizaciji pokreta. Reakcije ravnoteže su već unaprijed organizirani pokreti koji djeluju u sinergiji s feed-forward i feedback mehanizmima, a svi zajedno oblikuju proces motoričkog učenja. Sposobnost održanja ravnoteže, brzina i preciznost prilikom hoda direktno je povezana s kvalitetom selektivnog pokretanja prilikom izvođenja funkcionalnih aktivnosti. Ključne komponente koje omogućuju kvalitetno pokretanje prema nekom cilju su: sposobnost održanja posturalne kontrole, odgovarajuće reakcije ravnoteže, koordinirani uzorci selektivnog pokreta, primjerena brzina, odgovarajuća snaga i izdržljivost. Sve nabrojene komponente oblikuju proces motoričkog učenja (eksplicitnog i implicitnog), neuromišićne plastičnosti i sudjeluju u poboljšanju tjelesne sheme (Raine i sur., 2013).

Povratak funkcije trupa, dinamičke stabilnosti i ravnoteže su bitni faktori u rehabilitaciji neuroloških pacijenta Bobath metodom. Pravilno funkcioniranje mišića trupa je esencijalno za pravilnu izvedbu funkcionalnih zadataka, hoda i aktivnosti svakodnevnog života. Kvaliteta izvedbe proksimalnih dijelova, odnosno proksimalna stabilnost (statička i dinamička stabilnost trupa) direktno utječe na izvedbu gornjih i donjih ekstremiteta prilikom pokretanja (Kılınç i sur., 2016).



Kılınç i sur. (2016) su proveli randomiziranu kontrolnu studiju koja je za cilj imala ispitati učinak Bobath koncepta i drugih konvencionalnih metoda kod povratka funkcije hoda i ravnoteže u pacijenta nakon moždanog udara. Testove koje su istraživači koristili su bili TUG i 10MWT kojima su mjerili rizik od pada i ravnotežu prilikom hoda odnosno brzinu hoda ispitanika. Rezultati su pokazali da Bobath koncept ima prednost pred ostalim metodama na svim testiranjima. Bobath koncept je učinkovit tretman za rehabilitaciju mehanizama posturalne kontrole i stabilnosti mišića trupa, ravnoteže i funkcionalne neovisnosti kod osoba s neurološkim deficitom (Tekin, Kavlak, Cavlak i Altug 2018).

Iako su već spomenuti višestruki benefiti Lokomata u ranoj fazi neurorehabilitacije hoda kod pacijenta nakon SCI ne postoje jasni niti dovoljno snažni dokazi da uređaj ima značajan utjecaj u rehabilitaciji ravnoteže. Naime, postoje jaki dokazi koji govore da Lokomat u kombinaciji s konvencionalnim terapijskim metodama daje pozitivne rezultate u povratku mobilnosti, snage, izdržljivosti i dužini hodne pruge (Niu, Varoqui, Kindig i Mirbagheri 2014, Tang, Huang i Hu 2014).

Lokomat „vodi“ pacijenta kroz već unaprijed programirani obrazac hoda koji nastoji imitirati pravilan i fiziološki ljudski hod. Prilikom hoda pacijenti dobivaju proprioceptivni input transferirajući tako senzomotorne informacije s periferije prema centralnom živčanom sustavu. Lokomat potiče neuroplastičnost i motoričko učenje kroz repetitivne i cilju orijentirane zadatke omogućujući tako adaptivne promjene i reorganizaciju neuronskih krugova u centralnom živčanom sustavu (Baronchelli i sur., 2021). Postoje dokazi koji naglašavaju kako robotski asistirana terapija može aktivirati tipična motorička područja i neke strukture poput amigdale i insule koje imaju jednu od ključnih uloga u memoriji pokreta i motivaciji pacijenta (Nocchi i sur., 2012).

Kvaliteta hoda ovisi o sposobnosti održanja ravnoteže zbog činjenice da je većina ciklusa hoda oslonac na jednu nogu (Hornby i sur., 2011). Rezultati meta-analize autora Baronchelli, Zucchella, Serrao, Intiso i Bartolo (2021), ističu da ne postoje dokazi koji idu u prilog uspješnosti Lokomata u rehabilitaciji ravnoteže. Takvi rezultati su očekivani zbog toga što rehabilitacija Lokomat uređajem uključuje hod u sigurnom okruženju s fiksno pričvršćenim ortozama za noge pacijenta uz rasterećenje dijela težine. Sposobnost održanja ravnoteže tijela u

ciklusu hoda je dinamičan i izazovan proces koji uključuje puno više izazova od repetitivnih zadataka u sigurnom okruženju (Raine i sur., 2013).

Rezultati našeg istraživanja nisu pokazali statističku značajnost između smanjenja spastičnosti i smanjenja rizika od pada pacijenta nakon SCI. Isto tako trebamo naglasiti da dobiveni rezultati pokazuju pozitivan i značajan utjecaj navedenih metoda u rehabilitaciji ravnoteže prilikom ustajanja, sjedanja i hoda, odnosno u prevenciji pada pacijenta nakon SCI.

## 6. ZAKLJUČAK

Provedeno istraživanje je pokazalo kako kombinirani tretman Bobath metodom i robotskim uređajem Lokomat daje pozitivne rezultate u rehabilitaciji brzine hoda i sposobnosti održavanja ravnoteže što rezultira prevencijom pada kod pacijenta s nepotpunom ozljedom kralježnične moždine. Možemo reći da je kombinacija navedenih metoda imala pozitivan utjecaj na smanjenje spastičnosti koje je rezultiralo povećanjem brzine hoda, ali zbog relativno malog uzorka nije potvrđena statistička značajnost rezultata. Kombinirani tretman Bobath metodom i Lokomat robotskim uređajem nije pokazao statističku značajnost koja bi potvrdila da smanjenje spastičnosti donjih ekstremiteta značajno utječe na smanjenje rizika od pada kod pacijenta s nepotpunom ozljedom kralježnične moždine.

Budući da je ovo prvo istraživanje takve vrste u Republici Hrvatskoj, trebalo bi doprinijeti boljem razumijevanju kako utjecaj kombinacije Bobath metode i Lokomata utječe na spastičnost donjih ekstremiteta, brzinu hoda, dinamičku ravnotežu prilikom hoda i prevenciju pada kod pacijenta nakon nepotpune ozljede kralježnične moždine.

Prilikom provođenja budućih istraživanja predlažemo da se u istraživanje uključi veći broj ispitanika s nepotpunom ozljedom kralježnične moždine. Predlažemo da se jasno definira razina ozljede kod ispitanika. Isto tako bilo bi dobro napraviti kontrolne randomizirane grupe koje bi ispitale učinak navedenih metoda zasebno i u kombinaciji. Predlažemo da ispitivanja budu provedena u uvjetima optoelektroničkih sustava radi preciznije procjene kinematičkih parametara. Osim toga bilo bi poželjno ispitati mišićnu aktivaciju u pojedinoj fazi hoda korištenjem elektromiografije.

## 7. LITERATURA

1. Alashram, A. R., Annino, G., & Padua, E. (2021). Robot-assisted gait training in individuals with spinal cord injury: A systematic review for the clinical effectiveness of Lokomat. *Journal of Clinical Neuroscience*, 91, 260-269. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2021.07.019>
2. Ascencio, E. J., Cieza-Gómez, G. D., Carrillo-Larco, R. M., & Ortiz, P. J. (2022). Timed up and go test predicts mortality in older adults in Peru: A population-based cohort study. *BMC Geriatrics*, 22(1), 61. <https://doi.org/10.1186/s12877-022-02838-7>
3. Baronchelli, F., Zucchella, C., Serrao, M., Intiso, D., & Bartolo, M. (2021). The effect of robotic-assisted gait training with Lokomat® on balance control after stroke: Systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Neurology*, 12, 661815. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.661815>
4. Barbiellini Amidei, C., Salmaso, L., Bellio, S., & Saia, M. (2022). Epidemiology of traumatic spinal cord injury: A large population-based study. *Spinal Cord*, 60(9), 812-819. <https://doi.org/10.1038/s41393-022-00754-8>
5. Besios, T., Nikolaos, A., Vassilios, G., & Giorgos, M. (2019). Effects of the neurodevelopmental treatment (NDT-Bobath) in the mobility of adults with neurological disorders. *Open Journal of Therapy and Rehabilitation*, 7(3), 120-130. <https://doi.org/10.4236/ojtr.2019.73008>
6. Biering-Sorensen, F., & Burns, S. P. (2000). International standards for neurological classification of spinal cord injury. *Topics in Spinal Cord Injury Rehabilitation*, 27(2), 1-22. <https://doi.org/10.46292/sci-27-2-1>
7. Brinar, V., & suradnici. (2019). *Neurologija za medicinare: drugo, obnovljeno i dopunjeno izdanje*. U V. Brinar & I. Zadro (Ur.), *Spinalni sindromi* (str. 379-385). Medicinska naklada.
8. Burns, S. P., Graves, D. E., Guest, J., Jones, L., Read, M. S., Rodriguez, G. M., & Kirshblum, S. (2021). International standards for neurological classification of spinal cord injury. *Topics in Spinal Cord Injury Rehabilitation*, 27(2), 1-22. <https://doi.org/10.46292/sci-27-2-1>
9. Dobkin, B. H. (2008). Partial spinal cord injury and locomotor training. *Current Opinion in Neurology*, 21(6), 684-692. <https://doi.org/10.1097/WCO.0b013e3283179e22>

10. Duffell, L. D., Brown, G. L., & Mirbagheri, M. M. (2015). Interventions to reduce spasticity and improve function in people with chronic incomplete spinal cord injury: Distinctions revealed by different analytical methods. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 29(6), 566-576. <https://doi.org/10.1177/1545968314558601>
11. Edgerton, V. R., & Roy, R. R. (2012). Reorganization of physiological and functional properties of spinal cord neurons with spinal cord injury. In *Spinal Cord Injury Rehabilitation* (pp. 173-192). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-380877-8.00008-5>
12. Forrest, G. F., Hutchinson, K., Lorenz, D. J., Buehner, J. J., VanHiel, L. R., Sisto, S. A., & Basso, D. M. (2014). Are the 10 meter and 6 minute walk tests redundant in patients with spinal cord injury? *PLOS One*, 9(5), e94108. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094108>
13. Fox, E. J., Tester, N. J., Kautz, S. A., & Howland, D. R. (2016). Modular control of stepping after human spinal cord injury: A functional network approach. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10, 348. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00348>
14. Grillner, S., & Zangger, P. (1979). On the central generation of locomotion in the low spinal cat. *Experimental Brain Research*, 34(2), 241-261. <https://doi.org/10.1007/BF00235670>
15. Hachem, L. D., Ahuja, C. S., & Fehlings, M. G. (2017). Assessment and management of acute spinal cord injury: From point of injury to rehabilitation. *The Journal of Spinal Cord Medicine*, 40(6), 665-675. <https://doi.org/10.1080/10790268.2017.1329076>
16. Harb, A., & Kishner, S. (2023). Modified Ashworth scale. In *StatPearls* [Internet]. StatPearls Publishing.
17. Hughes, A. M., Burridge, J. H., Demain, S. H., Ellis-Hill, C., Meagher, C., Tedesco-Triccas, L., & Turk, R. (2014). Translation of evidence-based Assistive Technologies into stroke rehabilitation: Users' perceptions of the barriers and opportunities. *BMC Health Services Research*, 14(1), 1-8. <https://doi.org/10.1186/1472-6963-14-124>
18. Kang, Y., Ding, H., Zhou, H., Wei, Z., Liu, L., Pan, D., & Feng, S. (2018). Epidemiology of worldwide spinal cord injury: A literature review. *Journal of Neurorestoratology*, 6, 1-9. <https://doi.org/10.2147/JN.S143236>
19. Khan, A., Pujol, C., Laylor, M., Unic, N., Pakosh, M., Dawe, J., & Musselman, K. E. (2019). Falls after spinal cord injury: A systematic review and meta-analysis of incidence proportion and contributing factors. *Spinal Cord*, 57(7), 526-539. <https://doi.org/10.1038/s41393-019-0274-4>

20. Kirshblum, S. C., Biering-Sorensen, F., Betz, R., Burns, S., Donovan, W., Graves, D. E., & Waring, W. (2014). International standards for neurological classification of spinal cord injury: Cases with classification challenges. *The Journal of Spinal Cord Medicine*, 37(2), 120-127. <https://doi.org/10.1179/2045772313Y.0000000091>
21. Khorasanizadeh, M., Yousefifard, M., Eskian, M., Lu, Y., Chalangari, M., Harrop, J. S., & Rahimi-Movaghar, V. (2019). Neurological recovery following traumatic spinal cord injury: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Neurosurgery: Spine*, 30(5), 683-699. <https://doi.org/10.3171/2018.10.SPINE18802>
22. Marchal-Crespo, L., & Riener, R. (2022). Technology of the robotic gait orthosis Lokomat. In *Neurorehabilitation Technology* (pp. 665-681). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-63438-4\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-030-63438-4_24)
23. Mehrholz, J., Harvey, L. A., Thomas, S., Elsner, B., & Pohl, M. (2017). High-intensity treadmill training for walking after spinal cord injury: A systematic review and meta-analysis. *Spinal Cord*, 55(11), 983-988. <https://doi.org/10.1038/sc.2017.69>
24. Mehrholz, J., Thomas, S., Werner, C., Kugler, J., Pohl, M., & Elsner, B. (2017). Electromechanical-assisted training for walking after stroke. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 5, CD006185. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD006185.pub4>
25. Michielsen, M. E., Selles, R. W., Stam, H. J., & Ribbers, G. M. (2011). Quantifying nonuse in chronic stroke patients: A study into the construct validity of the Motor Activity Log. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 25(1), 40-47. <https://doi.org/10.1177/1545968310376753>
26. Mignardot, J. B., Beauchet, O., Perrey, S., Roche, F., & Pfitzenmeyer, P. (2014). Frontal brain activity and posture control in frail older adults. *Journal of Alzheimer's Disease*, 41(3), 753-764. <https://doi.org/10.3233/JAD-132264>
27. Milinis, K., Young, C. A., & Mills, R. J. (2021). Cognitive dysfunction in people with spinal cord injury: Prevalence and risk factors. *Spinal Cord*, 59(9), 1005-1013. <https://doi.org/10.1038/s41393-021-00646-6>
28. Morawietz, C., & Moffat, F. (2013). Effects of locomotor training after incomplete spinal cord injury: A systematic review. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 94(11), 2297-2308. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2013.06.023>

29. Nef, T., Lum, P. S., Rijke, H. T., & Riener, R. (2018). Rehabilitation robotics. In M. O'Malley (Ed.), *Handbook of neuroengineering* (pp. 207-236). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-01201-4>
30. Sale, P., Franceschini, M., Mazzoleni, S., Bigazzi, S., Galafate, D., Cimolato, A., ... & Gazzini, A. (2012). Effects of upper limb robot-assisted therapy on motor recovery in subacute stroke patients. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 9(1), 1-7. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-9-43>
31. Schindler-Ivens, S., & Shields, R. K. (2000). Low frequency depression of H-reflexes in humans with acute and chronic spinal-cord injury. *Experimental Brain Research*, 133(2), 233-241. <https://doi.org/10.1007/s002210000374>
32. Skelton, D. A., & Beyer, N. (2003). Exercise and injury prevention in older people. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 13(1), 77-85. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0838.2003.00294.x>
33. Thomas, S. L., Zaidner, A. A., Guest, J. D., & Lee, S. Y. (2021). Feasibility and safety of thoracic laminectomy for surgical access to the spinal cord in a rat model of spinal cord injury. *Journal of Neurosurgery: Spine*, 35(2), 231-239. <https://doi.org/10.3171/2020.11.SPINE201388>
34. Verheyden, G., Nieuwboer, A., De Wit, L., Feys, H., Schuback, B., Baert, I., & De Weerd, W. (2007). Trunk performance after stroke: An eye on assessment and clinical practice. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 39(1), 27-34. <https://doi.org/10.2340/16501977-0012>
35. Wilkenfeld, A. J., & Nichols, T. A. (2020). Spinal cord injury rehabilitation: From bed to the community. In R. D. Zafonte (Ed.), *Spinal Cord Injury Medicine* (pp. 425-437). Demos Medical Publishing.
36. Wirz, M., Zemon, D. H., & Dietz, V. (2005). Effectiveness of automated locomotor training in patients with chronic incomplete spinal cord injury: A multicenter trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 86(4), 672-680. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2004.08.004>
37. Wirz, M., Zemon, D. H., & Rupp, R. (2022). Robotic gait training: A critical review of the literature. *Journal of Neurorehabilitation*, 29(2), 185-193. <https://doi.org/10.3233/NRE-220054>

38. World Health Organization. (2020). Global disability action plan 2014-2021. Better health for all people with disability (2021 update). WHO Press. [https://www.who.int/disability/global\\_action\\_plan/en/](https://www.who.int/disability/global_action_plan/en/)
39. Zanotto, D., Stegall, P., & Agrawal, S. K. (2018). Robotic gait trainers for locomotion therapy after spinal cord injury: Deriving design criteria from patients' needs. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 15(1), 1-21. <https://doi.org/10.1186/s12984-018-0362-6>
40. Zhang, S., Liu, Y., Zhang, Y., & Li, J. (2022). Advances in rehabilitation technologies for spinal cord injury: A systematic review. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 19(1), 1-14. <https://doi.org/10.1186/s12984-022-00944-3>
41. Zhang, Y., & Wu, Q. (2023). Development of wearable robotics for spinal cord injury rehabilitation: Current trends and future directions. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 70(3), 840-850. <https://doi.org/10.1109/TBME.2022.3185562>
42. Zhou, Y., Wang, X., & Zhang, J. (2021). The effect of robotic gait training on lower limb motor function in spinal cord injury: A meta-analysis. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 18(1), 98. <https://doi.org/10.1186/s12984-021-00865-0>



## 8. PRILOZI

### Slike:

- Slika 1. Lokomat Pro. Preuzeo sa: <https://www.lmc-eg.com/product/hocoma-lokomat/>.....10
- Slika 2. Poboljšanje prema TUG testu s obzirom na poboljšanje prema MAS skali.....17
- Slika 3. Razlika u vremenu od nastanka ozljede s obzirom na poboljšanje prema MAS skali.....20

### Tablice:

- Tablica 1. ASIA skala oštećenja. Izvor: sistematizacija autora prema Burns i sur., 2021. ....5
- Tablica 2. Razlike u početnom i završnom mjerenju različitih vrsta hoda.....14
- Tablica 3. Distribucije prosječnih vrijednosti poboljšanja različitih vrsta mjenog hoda.....15
- Tablica 4. Povezanost smanjenja spastičnosti i povećanja pojedine brzine hoda.....16
- Tablica 5. Povezanost smanjenja rizika od pada i povećanja brzine hoda.....18
- Tablica 6. Povezanost smanjenja rizika od pada i povećanja brzine hoda.....19
- Prilog etičkog povjerenstva Poliklinike Glavić.....33



poliklinika  
GLAVIĆ

Prima: Marin Vuković  
Prvostupnik fizioterapije  
Kontakt: marin.vukovic87@gmail.com

Poliklinika Glavić  
Ulica Marijana Derenčina 3  
info@poliklinika-glavic.hr

**Predmet: istraživanje u svrhu završnog rada**

Poštovani Marine,

Etičko povjerenstvo Poliklinike Glavić primilo je dana 22.12.2023. Vašu molbu za istraživanje u našoj ustanovi u svrhu završnog rada. Očitovanje povjerenstva slijedi u nastavku:

Etičko povjerenstvo poliklinike Glavić odobrava Marinu Vukoviću istraživanje u svrhu završnog rada pod nazivom "Korelacija između spastičnosti donjih ekstremiteta i brzine hoda kod osoba sa paraparezom" pod mentorstvom Nikole Dobrijevića, mag. physioth.

U Zagrebu 22.12.2023.

Ravnatelj Poliklinike Glavić  
Dr. Josip Glavić

POLIKLINIKA GLAVIĆ  
Zagreb, Ulica Marijana Derenčina 3

ZA NEUROLOGIJU I FIZIJALNU MEDICINU I REHABILITACIJU FIZIKALNOM TERAPIJOM | Ulica Marijana Derenčina 3,  
11000 Zagreb | tel: +385 01 846 8310 | OIB: 13459115285 | IBAN: HR16240210511001012501

www.polyclinic-glavic.com | info@poliklinika-glavic.hr