

# TRAUMATSKA OZLJEDA MOZGA I MOŽDANI UDAR: POSTOJI LI RAZLIKA U OPORAVKU KORISTEĆI ROBOTSKU NEUROREHABILITACIJU?

---

Popović Curić, Ivana

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2023

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:258:514258>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-18**



Repository / Repozitorij:

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



**VELEUČILIŠTE IVANIĆ-GRAD**

**PROTETIKA, ORTOTIKA I ROBOTIKA U FIZIOTERAPIJI**

(studij za stjecanje akademskog naziva: magistar fizioterapije)

**Ivana Popović Curić**

**TRAUMATSKA OZLJEDA MOZGA I MOŽDANI  
UDAR: POSTOJI LI RAZLIKA U OPORAVKU  
KORISTEĆI ROBOTSKE  
NEUROREHABILITACIJU?**

Diplomski rad

**Mentor: Mark Tomaj, mag. physioth., pred.**

---

(potpis studenta)

---

(potpis mentora)

Ovim potpisima se potvrđuje da je ovo završna verzija (Traumatska ozljeda glave i moždani udar: Postoji li razlika u oporavku koristeći robotsku neurorehabilitaciju?) koja je obranjena pred Povjerenstvom te da je ova tiskana verzija istovjetna elektroničkoj verziji predanoj u digitalni repozitorij Veleučilišta Ivanić-Grad.

# TRAUMATSKA OZLJEDA MOZGA I MOŽDANI UDAR : POSTOJI LI RAZLIKA U OPORAVKU KORISTEĆI ROBOTSKE NEUROREHABILITACIJU?

## Sažetak

Traumatska ozljeda mozga (TOM) i moždani udar (MU) predstavljaju značajne javnozdravstvene izazove u cijelom svijetu ujedno i u Hrvatskoj. Ove dvije neurološke bolesti često imaju ozbiljne posljedice za pojedinca, uključujući motoričke i kognitivne poteškoće, koje mogu imati značajan utjecaj na kvalitetu života. S obzirom na te izazove, postalo je nužno stalno tragati za inovativnim i učinkovitim terapijskim pristupima.

Robotska neurorehabilitacija je relativno novo, ali obećavajuće područje rehabilitacije koje kombinira načela robotike i neuroznanosti za poboljšanje procesa oporavka pacijenata s neurološkim poremećajima. Ovaj pristup omogućuje precizno kontrolirane vježbe i terapije prilagođene potrebama pojedinog pacijenta i može dovesti do poboljšanih ishoda rehabilitacije. Trenutačni dokazi upućuju na to da robotska neurorehabilitacija može biti korisna za poboljšanje motoričkih funkcija kod pacijenata nakon moždanog udara ili ozljeda mozga. Unatoč ovim nalazima, međutim, ostaje pitanje postoji li razlika u učinkovitosti ovog terapijskog pristupa između ove dvije različite neurološke populacije. Ova razlika može biti posljedica različitih patofizioloških mehanizama u podlozi traumatske ozljede mozga i moždanog udara, koji mogu utjecati na odgovor na liječenje.

Cilj ovog istraživanja je provesti komparativnu analizu učinkovitosti robotski potpomognute neurorehabilitacije u procesu oporavka pacijenata nakon ozljede mozga i nakon moždanog udara. Istraživanje će se provoditi u Poliklinici Glavić u Zagrebu, a obuhvatit će dvije jasno definirane skupine pacijenata. Obje skupine dobivaju terapiju jednakog trajanja, odnosno dvanaest tjedana intenzivne robotske neurorehabilitacije.

U ovom istraživanju koristit će se tri standardizirana testa – *“Timed Up and Go”* (TUG), *“Berg Balance Scale”* (BBS) i *“10 Meter Walk Test”* (10 MWT) kod pacijenata prije i poslije rehabilitacije.

Rezultati ove studije mogli bi dovesti do boljeg razumijevanja razlika u učinkovitosti robotske neurorehabilitacije između pacijenata s traumatskom ozljedom mozga i moždanim udarom, što bi moglo imati važne implikacije za prilagodbu strategija liječenja i optimizaciju

programa rehabilitacije za ove dvije populacije. U konačnici, istraživanje bi moglo pomoći u poboljšanju kvalitete života pacijenata koji se oporavljaju od ovih ozbiljnih neuroloških bolesti.

**Ključne riječi:** traumatska ozljeda mozga, moždani udar, robotska neurorehabilitacija, komparativna analiza, oporavak

# TRAUMATIC BRAIN INJURY AND STROKE: IS THERE A DIFFERENCE IN RECOVERY USING ROBOTIC NEUROREHABILITATION?

## Abstract

Traumatic brain injury (TBI) and stroke are significant public health challenges worldwide, including in Croatia. These neurological conditions often result in serious consequences for individuals, including motor and cognitive difficulties that can significantly impact their quality of life. Given these challenges, there is an ongoing need to search for innovative and effective therapeutic approaches.

Robotic neurorehabilitation is a relatively new but promising field of rehabilitation that combines principles of robotics and neuroscience to enhance the recovery process of patients with neurological disorders. This approach enables precise, patient-tailored exercises and therapies that can lead to improved rehabilitation outcomes. Current evidence suggests that robotic neurorehabilitation may be beneficial in enhancing motor functions in patients recovering from stroke or brain injuries. However, a question remains: is there a difference in the effectiveness of this therapeutic approach between these two distinct neurological populations? This difference may be attributed to differing pathophysiological mechanisms underlying TBI and stroke, which could affect treatment response.

The aim of this research is to conduct a comparative analysis of the effectiveness of robot-assisted neurorehabilitation in the recovery process of patients with brain injuries and stroke. The study will be conducted at the Polyclinic Glavić in Zagreb and will encompass two clearly defined groups of patients. Both groups will receive therapy of the same duration, namely, twelve weeks of intensive robotic neurorehabilitation.

This study will employ three standardized functional tests – “*Timed Up and Go*” (TUG), “*Berg Balance Scale*” (BBS) and the “*10 Meter Walk Test*” (10 MWT) in patients before and after rehabilitation.

The results of this study could lead to a better understanding of the differences in the effectiveness of robotic neurorehabilitation between patients with TBI and stroke, which may have significant implications for tailoring treatment strategies and optimizing rehabilitation

programs for these two populations. Ultimately, this research could contribute to improving the quality of life for patients recovering from these serious neurological conditions.

**Keywords:** traumatic brain injury, stroke, robotic neurorehabilitation, comparative analysis, recovery

# Sadržaj

<b>1. Uvod</b>	1
1.1. Teorijska pozadina	1
1.2. Današnje spoznaje	2
1.3. Problemi današnjice	2
<b>2. Traumatska ozljeda mozga</b>	4
2.1. Klinička slika	4
2.2. Epidemiologija	4
2.3. Rehabilitacija osoba s traumatskom ozljedom mozga	5
<b>3. Moždani udar</b>	7
3.1. Klinička slika	7
3.2. Epidemiologija	8
3.3. Rehabilitacijske smjernice	8
<b>4. Neurorehabilitacija uz pomoć robotike</b>	10
4.1. Neuroplastičnost	10
4.2. Ključni čimbenici oporavka	10
4.3. Robotika u neurorehabilitaciji	11
<b>5. Ciljevi i hipoteze</b>	12
5.1. Ciljevi istraživanja	12
5.2. Hipoteze	12
<b>6. Metode istraživanja</b>	14
6.1. Uzorak ispitanika	14
6.2. Opis protokola	14
6.3. Mjerni instrumenti i varijable	15
6.4. Metode obrade podataka	17
<b>7. Rezultati</b>	18
7.1. Promjene kod pacijenata s traumatskom ozljedom mozga nakon dvanaest tjedana terapije robotskom neurorehabilitacijom	18
7.2. Promjene kod pacijenata nakon moždanog udara nakon dvanaest tjedana terapije robotskom neurorehabilitacijom	19
7.3. Usporedba učinkovitosti robotske neurorehabilitacije između pacijenata s traumatskom ozljedom mozga i pacijenata nakon moždanog udara	21
7.4. Usporedba učinkovitosti robotske neurorehabilitacije između muških i ženskih pacijenata	23
<b>8. Rasprava</b>	26
<b>9. Zaključak</b>	28
<b>10. Literatura</b>	29



<b>11. Prilozi</b> .....	<b>31</b>
--------------------------	-----------

## 1. UVOD

### 1.1. Teorijska pozadina

Prema rezultatima istraživanja provedenog u okviru Globalne inicijative za neurologiju i javno zdravstvo koju je provodila Svjetska zdravstvena organizacija (SZO), mnoge neurološke bolesti su dugotrajne i napreduju, što ih čini globalnim javnozdravstvenim problemom, s posebnim utjecajem na starije osobe (Janca A., i suradnici, 2006.).

Osim napredovanja neuroloških bolesti na globalnoj razini, primijećeno je i kako duži životni vijek čini svjetsku populaciju sve starijom. Ova situacija, zajedno s potrebom za rehabilitacijom i pomoći osobama s invaliditetom, označava da bi neurorehabilitacija uz pomoć robotskih uređaja mogla igrati važnu ulogu u godinama koje dolaze. Danas je istraživanje o korištenju robotskih sustava u različitim područjima povezanim s zdravstvom široko rasprostranjeno (Chua K. S. G., i suradnici, 2017.).

Traumatska ozljeda mozga i moždani udar predstavljaju značajne izazove u medicinskom svijetu, često ostavljajući pacijente s ozbiljnim gubicima motoričkih funkcija, ravnoteže i sposobnosti hodanja. Oporavak nakon ovih neuroloških stanja zahtijeva strpljenje, predanost i pristup rehabilitaciji koji može ubrzati i poboljšati proces oporavka. U tom kontekstu, robotska neurorehabilitacija postala je ključna metoda koja obećava poboljšanje rezultata rehabilitacije.

Robotska neurorehabilitacija je visokotehnološki pristup koji koristi specijalizirane uređaje za izvođenje preciznih i ciljanih vježbi koje su prilagođene potrebama svakog pacijenta. Ovi uređaji često kombiniraju senzore i računalne algoritme kako bi pružili individualiziranu terapiju koja se temelji na analizi pokreta i sposobnosti pacijenta. Kroz ponavljane vježbe koje promiču specifične motoričke funkcije, robotska neurorehabilitacija ima potencijal potaknuti neuroplastičnost mozga i poboljšati motoričke vještine (Huang H., i suradnici, 2006.).

Znanstvena literatura pokazuje različite klasifikacije takvih sustava prema njihovoj razini interakcije, dijelovima tijela koji se tretiraju, modularnosti robotskih rehabilitacijskih uređaja, strategijama upravljanja i učinkovitosti tretmana (Veerbeek J. M., i suradnici, 2017.).

## 1.2. Današnje spoznaje

Prethodna istraživanja su dala značajne uvide u učinkovitost robotske neurorehabilitacije kod pacijenata s traumatskom ozljedom mozga i pacijenata nakon moždanog udara. Ovi pacijenti često su podvrgnuti različitim testovima kako bi se pratili njihovi motorički napredak, ravnoteža i brzina hodanja prije i nakon terapije robotskom neurorehabilitacijom. U vezi s ovim provedena su brojna klinička ispitivanja i meta-analize. Što se tiče učinkovitosti elektromehaničkog treninga ruku, analizirano je 45 randomiziranih kontroliranih ispitivanja s 1619 sudionika. Utvrđeno je da ova vrsta terapije potiče poboljšanje funkcije ruke i snage mišića, kao i izvršavanje svakodnevnih životnih aktivnosti (Mehrholz J., i suradnici, 2018.).

Nadalje, rezultati su bili obećavajući, sugerirajući da pacijenti koji koriste robotsku neurorehabilitaciju često postižu značajna poboljšanja u svojim motoričkim funkcijama. Primjerice, testovi poput "*Timed Up and Go*" (TUG), "*Berg Balance Scale*" (BBS) i "*10 Meter Walk Test*" (10 MWT) često su pokazivali značajne razlike u korist pacijenata koji su prošli kroz robotsku terapiju. Ovi rezultati podržavaju upotrebu robotske neurorehabilitacije kao učinkovite metode za poticanje oporavka nakon ozljeda mozga i moždanog udara. Europska mreža za robotiku u neurorehabilitaciji (u sklopu Europske suradnje u znanosti i tehnologiji – EU COST Action) objavila je preporuke o protokolima za procjenu u kliničkoj praksi i istraživanju rehabilitacijske robotike (Hughes AM, i suradnici, 2016.).

Ovaj istraživački rad ima za cilj usporediti učinkovitost robotske neurorehabilitacije kod ovih dviju skupina pacijenata, prateći njihove promjene u motoričkim funkcijama, ravnoteži i brzini hodanja. Očekuje se da će dobiveni rezultati pružiti dublje razumijevanje razlika u oporavku između ove dvije skupine pacijenata i potaknuti daljnji razvoj pristupa neurorehabilitaciji za svakog pojedinca.

## 1.3. Problemi današnjice

Postoji velika potreba za sveobuhvatnim provjerama rehabilitacije postojeće opreme, kao i za istraživanjem u području rehabilitacije kako bi se bolje usmjerile buduće tehnološke primjene tvrtki. Osim toga, primjećuju se obećavajuće perspektive, uključujući nove alate za istraživanje i bolje razumijevanje načina terapijskih intervencija te veću dosljednost i mogućnost mjerenja u tretmanima. Veliki izazov za organizaciju predstavljaju i troškovi:

ključni elementi u tom procesu su upravljanje i organizacijski algoritmi u svim ustanovama, individualni rehabilitacijski programi liječenja i, prije svega, medicinska preporuka stručnjaka za fizikalnu i rehabilitacijsku medicinu za primjenu robotske terapije. Trenutna financijska sredstva možda nisu dovoljna za proširenje primjene robotske terapije u glavnom toku neurorehabilitacije. (Wagner TH, i suradnici, 2011.)

Još jedan ključni element koji se ističe jest potreba za izmjenom sadržaja obuke za osoblje rehabilitacijskog tima kako bi se potaknula pravilna upotreba robotske opreme u rehabilitaciji. Obrazovni programi u području fizikalne i rehabilitacijske medicine sve više posvećuju pažnju argumentima vezanim za robotiku, no to i dalje nedostaje u usporedbi s potrebama. Plan studija za studente trebao bi uključivati izravna klinička iskustva u područjima gdje se tehnološki sustavi koriste i za procjenu i za liječenje pacijenata. Često se postavlja pitanje može li robotska tehnologija zamijeniti tradicionalne metode u rehabilitaciji i kako to utječe na rad medicinskog osoblja. Novi vještine su potrebne kako bi se osigurala preciznost i nadzor terapijskih postupaka, te se operativno osoblje mora prilagoditi promjenama u svojoj ulozi i surađivati s tehničkim stručnjacima. Glavna potreba je osigurati brigu za svakog pacijenta kako bi se postigli terapijski rezultati.

## 2. TRAUMATSKA OZLJEDA MOZGA

### 2.1. Klinička slika

Traumatska ozljeda mozga (TBI) je neprogresivno oštećenje mozga praćeno nasilnom i brzom vanjskom silom koja se primjenjuje na lubanju. Neke vrste TBI-a mogu izazvati privremene ili kratkotrajne probleme s normalnim funkcioniranjem mozga, uključujući poteškoće u razmišljanju, razumijevanju, kretanju, komunikaciji i ponašanju osobe. Ozbiljniji TBI može dovesti do teškog i trajnog invaliditeta, pa čak i smrti. Neke ozljede se smatraju primarnima, što znači da je šteta odmah nastala. Druge posljedice TBI-a mogu biti sekundarne, što znači da se mogu postupno razvijati tijekom sati, dana ili se mogu pojaviti tjednima kasnije. Ove sekundarne ozljede mozga rezultat su reaktivnih procesa koji se javljaju nakon početne traume glave.

Primarne traumatske ozljede mozga (TOM) nastaju zbog neposrednog utjecaja vanjske sile, naglog ubrzanja ili usporavanja, prodiranja objekta ili djelovanja zračnog pritiska pri eksplozijama. Vrsta, snaga, smjer i trajanje tih sila određuju vrstu i opseg ozljede mozga. Uobičajene ozljede uključuju kontuzije mozga, difuzne aksonalne ozljede, krvarenje izvan i unutar lubanje, difuzni otok mozga i poremećaje u cirkulaciji mozga. (Maas AIR, i suradnici, 2008.)

Sekundarne ozljede mozga proizlaze iz staničnih, biokemijskih i molekularnih promjena koje izazivaju ishemiju (nedostatak kisika) i povezanu eksitotoksičnost, oksidativni stres, poremećaje u energetske procesima i procese apoptoze. Ove ozljede uključuju sekundarni otok, sekundarne aksonalne ozljede i aktivaciju upalnih medijatora (Kim HJ. i suradnici, 2018.).

### 2.2. Epidemiologija

TBI pogađa oko 64-74 milijuna ljudi svake godine diljem svijeta i uzrokuje različite fizičke, motoričke, govorne i kognitivne nedostatke koji mogu imati dugoročne štetne posljedice (Dewan M.C., i suradnici, 2019.).

Ukupna incidencija (što uključuje smrtnost i hospitalizaciju) u Europi varira između 235 i 262 slučaja na 100.000 stanovnika, dok je prosječna stopa smrtnosti 15 na 100.000

stanovnika. Omjer blagih, umjerenih i teških ozljeda mozga iznosi otprilike 22 : 1,5 : 12, što znači da se oko deset slučajeva teških ozljeda mozga javlja na 100.000 stanovnika svake godine. Točni podaci o incidenciji traumatskih ozljeda u Republici Hrvatskoj nisu dostupni, no pretpostavlja se da je oko polovice osoba s ozljedama glave (svih stupnjeva ozljeda) potrebno hospitalizirati (Tagliaferri F, i suradnici, 2006.).

Najnoviji podaci Hrvatskog zavoda za javno zdravstvo koji se odnose na ukupni traumatizam u RH ukazuju na to da je tijekom 2012. godine u Hrvatskoj bilo 6528 hospitalizacija povezanih s ozljedama glave (MKB-10, šifre S00, S02 i S06), što znači da se svake godine dogodi između 13.000 i 14.000 ozljeda glave. Približno 5% hospitaliziranih osoba zahtijeva rehabilitaciju (oko 650-700 pacijenata) (Hrvatski zavod za javno zdravstvo, 2014.).

Svake godine u Hrvatskoj preživi ozbiljnu traumatsku ozljedu mozga oko 400 ljudi, pri čemu su većinom muškarci mlađi od 30 godina ili stariji od 70 godina. Najčešći uzroci ozljeda uključuju prometne nesreće (70%), padove (20%), dok su fizičko nasilje ili ranjavanje vatrenim oružjem manje učestali (5%) (Bakran Ž. , 2011.).

### 2.3. Rehabilitacija osoba s traumatskom ozljedom mozga

Rehabilitacija osoba s traumatskim ozljedama mozga (TOM) provodi se u različitim okruženjima, uključujući bolničku, ambulantnu i kućnu rehabilitaciju. Prema definiciji Svjetske zdravstvene organizacije (WHO), rehabilitacija je usmjeren proces koji ima za cilj smanjiti negativne posljedice onesposobljavajućih stanja i postići optimalnu socijalnu integraciju osoba s invaliditetom.

Fizikalna i rehabilitacijska medicina, prema Sekciji fizikalne i rehabilitacijske medicine (Section of PRM) Udruge europskih medicinskih specijalista (Union Europeenne des Medecins Specialaistes - UEMS), predstavlja samostalnu medicinsku specijalnost koja se bavi poticanjem tjelesnih i kognitivnih funkcija, aktivnosti (uključujući ponašanje), participacije (što obuhvaća kvalitetu života) te prilagodbom osobnih i okolinskih faktora. Stoga je odgovorna za prevenciju, dijagnosticiranje, liječenje i rehabilitaciju osoba s medicinskim stanjima koja uzrokuju invaliditet, kao i s pratećim zdravstvenim problemima, u svim dobima života. Brojna istraživanja su istaknula potencijal inovativnih tehnologija, uključujući robotiku i virtualnu stvarnost (VR), tijekom različitih faza rehabilitacije nakon traumatske ozljede mozga (TOM) (Aida J, i suradnici, 2018.).

Konkretno, primjena robotskih uređaja u rehabilitaciji može smanjiti invalidnost uzrokovanu neurološkim bolestima. Naime, robotski uređaji omogućuju manju potrebu za radnom snagom, dulje i intenzivnije vježbanje u usporedbi s tradicionalnim tretmanima, objektivno i kvantitativno vrednovanje invalidnosti, koje se može pratiti tijekom vremena, a istodobno omogućuju multisenzornu stimulaciju pacijenta.

### 3. MOŽDANI UDAR

#### 3.1. Klinička slika

Prema definiciji Svjetske zdravstvene organizacije (SZO), moždani udar predstavlja "brz razvoj kliničkih znakova poremećaja cerebralne funkcije, koji može biti lokaliziran ili općenit, s trajanjem simptoma od najmanje 24 sata ili do smrtonosnog ishoda, a nema vidljivog uzroka osim poremećaja u krvnim žilama kao potencijalnog izvora."

Moždani udar (također poznat kao cerebrovaskularni infarkt, cerebrovaskularni incident, apopleksija mozga) je brza disfunkcija mozga uzrokovana poremećajem dotoka krvi u mozak. To može proizaći iz ishemije, što znači smanjenje protoka krvi uzrokovano začepljenjem (tromboza, arterijska embolija), ili iz krvarenja (izlivanje krvi) (Sims NR, Mwyderman H., 2009.).

Kao posljedica ovog stanja, područje mozga koje je pogođeno gubi sposobnost normalnog funkcioniranja, što može rezultirati nemogućnošću osobe da kontrolira jedan ili više dijelova tijela na zahvaćenoj strani, poteškoćama u razumijevanju govora ili izražavanju riječi te smanjenjem vida na jednoj strani vidnog polja (Donnan GA, i suradnici, 2008.).

Moždani udar se smatra hitnim medicinskim stanjem koje zahtijeva brigu u specijaliziranim jedinicama za liječenje moždanog udara. Klinička istraživanja su pokazala da pravovremeno liječenje pacijenata u ovim specijaliziranim jedinicama značajno utječe na smanjenje smrtnosti i invalidnosti nakon moždanog udara (Demarin, 2004).

Moždani udar može biti podijeljen u dvije osnovne kategorije: ishemijski i hemoragijski. Ishemijski moždani udar događa se kada dolazi do prekida u dotoku krvi, dok hemoragijski moždani udar ili moždano krvarenje nastaje zbog pucanja krvne žile ili abnormalnosti u strukturi žila. Približno 87% moždanih udara je uzrokovano ishemijom, dok se preostali dio događa zbog krvarenja. Ponekad krvarenje može nastati unutar područja koje je prethodno ishemijom zahvaćeno, što se naziva "hemoragijskom transformacijom". Trenutno nije poznato koliko krvarenja počinje kao ishemijski moždani udar (Donnan GA, i suradnici, 2008.).



Ljevostrani moždani udar je češći (54%) od desnostranog moždanog udara (46%). Moždani udar lijeve hemisfere rezultira povećanom smrtnošću, dok preživjeli imaju teže posljedice od moždanog udara desne hemisfere (Hedna i sur., 2013.).

Procjenjuje se da otprilike jedna trećina oboljelih od moždanog udara umire, druga trećina ima teži, a zadnja trećina lakši rezidualni neurološki deficit ili je bez deficita. Od preživjelih osoba nakon moždanog udara, 50% njih ima značajnu dugoročnu onesposobljenost (Tyson i sur, 2006).

### 3.2. Epidemiologija

Moždani udar se smatra drugim vodećim uzrokom smrti, trećim vodećim uzrokom invaliditeta na globalnoj razini i glavnim uzrokom invaliditeta u starijoj populaciji. Iako je prevalencija moždanog udara značajno porasla između 1990. i 2010. godine, s udvostručenim brojem slučajeva ishemijskog moždanog udara (sa 2,7% na 4,9%) i povećanim brojem hemoragijskih moždanih udara (s 1,0% na 1,9%), ukupna smrtnost uslijed moždanog udara u istom razdoblju smanjila se za 20% u slučaju ishemijskog moždanog udara i za 25% u slučaju hemoragijskog moždanog udara (izvješće SPREAD, 2016.).

Indikacija za upotrebu robotskih uređaja je nažalost mnogo gdje je među bolestima i ozljedama, moždani udar najčešći uzrok poremećaja kretanja gornjih ekstremiteta. Procjenjuje se da će do 2030. moždani udar biti četvrti vodeći uzrok izgubljenih godina života zbog neke invalidnosti.

### 3.3. Rehabilitacijske smjernice

Međunarodne smjernice za rehabilitaciju osoba koje su pretrpjele moždani udar ističu da se robotska terapija (RT) čini kao sigurna i dobro podnošljiva alternativa za rehabilitaciju gornjih ekstremiteta kod pacijenata koji su pretrpjeli moždani udar (Morone i suradnici, 2021.; SPREAD, 2016.).

Ova terapija se čini korisnom jer poboljšava snagu mišića, kontrolu pokreta i potiče funkcionalni oporavak udova. Zapravo, RT se smatra načinom za povećanje količine i intenziteta terapije, što motivira pacijente da izvode više ponavljanja i produže trajanje terapije. Također se može smatrati sredstvom za standardizaciju tretmana (Gueye i suradnici, 2021.).

Rehabilitacijske mjere za pacijente sa senzomotoričkim problemima nakon moždanog udara mnogo su učinkovitije ako započnu ranije, intenzivne su i pružaju multisenzornu stimulaciju. Mehanizam na kojem se temelji oporavak od neuroloških oštećenja nakon moždanog udara još je nedovršen, ali sigurno je da je uključeno više procesa i da plastičnost središnjeg živčanog sustava igra ključnu ulogu. Svi oblici učenja, uključujući učenje tijekom fizikalnih terapijskih postupaka, uzrokuju strukturnih i funkcionalnih promjena u mozgu.

Postoje dokazi da je sposobnost neuroplastičnosti određena aktivnim kretanjem segmenata tijela, a ne samim položajem odnosno pozicioniranjem ili zauzimanjem pacijenta u određeni položaj. Rehabilitacija se treba temeljiti na repetitivnim, složenim i višesmjernim pokretima u svim dimenzijama kretanja. Također se mora uzeti u obzir i sustav “feedback” koji donosi ranije i bolje funkcionalne i motoričke rezultate (Masiero i Carraro, 2008).

## 4. NEUROREHABILITACIJA UZ POMOĆ ROBOTIKE

### 4.1. Neuroplastičnost

Neuroplastičnost, također nazvana neuronska plastičnost ili plastičnost mozga, sposobnost je neuronskih mreža mozga da se mijenjaju kroz rast i reorganizaciju. Te promjene sežu od stvaranja novih veza preko pojedinačnih živčanih putova do sustavnih prilagodbi kao što je reprogramiranje moždane kore. Primjeri neuroplastičnosti uključuju promjene u krugovima i mrežama koje proizlaze iz učenja novih vještina, utjecaja okoline, prakse i psihološkog stresa.

Neuroplastičnost je ključna komponenta funkcionalnog oporavka koji se javlja kao odgovor na traumu, promjene u unutarnjem i vanjskom okruženju ili kao rezultat senzomotoričkog učenja i iskustva. Neuroplastičnost je glavni razlog tretmana, u kojem terapeut aferentnim informacijama utječe na središnji živčani sustav trenirane osobe, što dovodi do reorganizacije korteksa, formiranja novih sinapsi i nicanja dendrita. Unos aferentnih informacija koristi se za reedukaciju liječenih osoba za postizanje normalnijeg oblika kretanja odnosno veće učinkovitosti kretanja (Raine i sur., 2009.).

### 4.2. Ključni čimbenici oporavka

U današnje vrijeme postoje različiti oblici terapija kao i ortotskih i protetskih pomagala koja požu u postizanju bolje funkcionalnosti gornjeg ekstremiteta. Važno za napomenuti je da sami ishod rehabilitacije je ovisan o nekoliko čimbenika kao što su: vrijeme početka rehabilitacije nakon ozljede, trajanje i intenzitet rehabilitacije te ciljno usmjereni zadaci koji se provode u sklopu rehabilitacijskog procesa. Nadalje, ishod je ovisan o zdravstvenom stanju pacijenta te motivaciji odnosno uloženom trudu (Patton J. i suradnici, 2008.).

Jedan od ključnih principa neuroplastičnosti mozga, na kojem se temelji neurorehabilitacija, je visok repetitivan intenzitet ciljno usmjerenih zadataka. Zbog toga je veliki problem nedostatak kadra za provođenje ovog oblika terapije. Intenzivna ponavljanja koordiniranih motoričkih aktivnosti predstavljaju značajan stres za terapeute koji pomažu pacijentima. Osim toga, iz ekonomskih razloga, trajanje primarne rehabilitacije je sve kraće. Ovi problemi vjerojatno će se pogoršati u budućnosti kako se očekivani životni vijek produljuje, popraćen prevalencijom i umjerenih i teških motoričkih invaliditeta u starijoj

populaciji i posljedičnim povećanjem njihove potrebe za rehabilitacijom koja podrazumijeva različite oblike iste (WHO: The global burden of disease: 2004.).

#### 4.3. Robotika u neurorehabilitaciji

Fizioterapijski tretmani usmjereni su na obnovu i/ili poboljšanje ravnoteže i sposobnosti hoda, aktivaciju lokomotornih centara u središnjem živčanom sustavu (SŽS) i istovremeno jačanje posturalne kontrole potrebne za hodanje (Bland D.C., i suradnici, 2011.).

Tradicionalne metode rehabilitacije imaju određene restrikcije koje mogu negativno utjecati na postignute rezultate. Te ograničavajuće faktore uključuju nedostatak standardiziranog okvira za vježbanje, ograničene mogućnosti prilagodbe podrške kako bi se omogućio funkcionalniji trening pacijenata, te ograničenost u povećanju intenziteta terapije i doze, sve to uz istovremeno smanjenje tjelesnog napora za terapeute (Gassert R., Dietz V., 2018.).

U svom radu fizioterapeuti ili ostali terapeuti, često se suočavaju s teškoćama po pitanju prostorne i vremenske simetrije između koraka kod teških stanja pacijenata, čime ponovljivost vježbi čini vrlo nepreciznom (Calabrò R.S., i suradnici, 2016.).

Nove metode za uspravljanje i trening hoda koriste se kako bi se prevladali ovi problemi, a temelje se na visoko intenzivnom treningu s velikim brojem ponavljanja usmjerenih na zadatke. To je moguće zahvaljujući robotskim uređajima koji mogu poboljšati reproducibilnost kinematike tijekom ciklusa hoda i povećati intenzitet i obim motoričkih vježbi.

## 5. CILJEVI I HIPOTEZE

### 5.1. Ciljevi istraživanja

Nakon teorijske spoznaje kao i provedenih dosadašnjih istraživanja te sagledavanja kompleksnosti problema traumatske ozljede glave i moždanog udara kao i potencijalnih prednosti robotske neurorehabilitacije, postavljanje jasnih ciljeva istraživanja postaje neophodno. U svjetlu toga, ciljevi ovog rada formulirani su kako bi se istražila učinkovitost ovog novog terapijskog pristupa kod dvije različite neurološke populacije i istražili potencijalni izazovi u primjeni ove vrste rehabilitacije u kliničkom okruženju.

Ciljevi ovog istraživanja su:

- Usporediti učinkovitost robotske neurorehabilitacije u procesu oporavka između pacijenata s traumatskom ozljedom glave i pacijenata nakon moždanog udara.
- Analizirati promjene u motoričkim funkcijama, ravnoteži i brzini hodanja kod pacijenata prije i nakon dvanaest tjedana intenzivne terapije robotskom neurorehabilitacijom.
- Identificirati moguće razlike u odgovoru na terapiju između ove dvije različite neurološke populacije.
- Pružiti smjernice za prilagodbu terapijskih strategija i optimizaciju programa rehabilitacije za pacijente s traumatskom ozljedom glave i pacijente nakon moždanog udara.

### 5.2. Hipoteze

Prije formuliranja hipoteza, potrebno je naglasiti da je cilj ovog istraživanja bolje razumijevanje učinkovitosti robotski potpomognute neurorehabilitacije u procesu oporavka pacijenata nakon traumatske ozljede mozga i pacijenata nakon moždanog udara. Cilj ove studije je identificirati specifične aspekte koji mogu utjecati na uspjeh ovog terapijskog pristupa i pružiti informacije za buduće prilagodbe terapijskih strategija. Na temelju postavljenih ciljeva, možemo formulirati četiri hipoteze koje će se istraživati u ovom radu:

- Nulta hipoteza (H<sub>0</sub>): Ne postoji značajna razlika u učinkovitosti robotske neurorehabilitacije između pacijenata s traumatskom ozljedom mozga i pacijenata nakon moždanog udara.

- Alternativna hipoteza (H1): Postoji značajna razlika u učinkovitosti robotske neurorehabilitacije između pacijenata s traumatskom ozljedom mozga i pacijenata nakon moždanog udara.
- Nulta hipoteza (H0): Nema značajnih promjena u motoričkim funkcijama, ravnoteži i brzini hodanja kod pacijenata prije i nakon dvanaest tjedana terapije robotskom neurorehabilitacijom.
- Alternativna hipoteza (H1): Postoje značajne promjene u motoričkim funkcijama, ravnoteži i brzini hodanja kod pacijenata prije i nakon dvanaest tjedana terapije robotskom neurorehabilitacijom.

## 6. METODE ISTRAŽIVANJA

Istraživanje se provelo u Poliklinici Glavić u Zagrebu gdje su promatrane dvije skupine pacijenata. Prva skupina pacijenata su pacijenti s stanjem nakon traumatske ozljede mozga dok su druga skupina pacijenata nakon moždanog udara. Obje skupine su u terapiji proveli dvanaest tjedana intenzivne terapije uz pomoć robotskih uređaja odnosno robotske neurorehabilitacije. Testovi koji su se u istraživanju proveli su standardizirani testovi i to: “*Timed Up and Go*” (TUG), “*Berg Balance Scale*” (BBS) te “*10 Meter walk Test*” (10 MWT) na početku i na kraju dvanaesto tjednog ciklusa robotske neurorehabilitacije. Suglasnost o sudjelovanju ispitanika u istraživanju dobivena je od Etičkog povjerenstva Poliklinike Glavić.

### 6.1. Uzorak ispitanika

Istraživanje uključuje dvije skupine pacijenata. Prva skupina se sastoji od pacijenata koji su pretrpjeli traumatsku ozljedu mozga dok drugu skupinu sačinjavaju pacijenti s moždanim udarom. Svaka skupina se sastoji od 15 pacijenata koji sudjeluju u istraživanju. Oba spola i različite dobne skupine uzeti su u obzir kako bi se osigurala raznovrsnost uzorka.

### 6.2. Opis protokola

Detaljni protokol osigurat će strukturiranu i kontroliranu provedbu istraživanja te će omogućiti objektivnu analizu učinkovitosti robotske neurorehabilitacije u procesu oporavka pacijenata s različitim neurološkim stanjima kao što su traumatska ozljeda mozga te moždani udar.

Istraživanje je započelo odabirom i prikupljanjem ispitanika. Selekcija ispitanika je učinjena u Poliklinici Glavić u Zagrebu gdje su se identificirali i odabrali pacijenti koji ispunjavaju kriterije za sudjelovanje u istraživanju. Pacijenti koji su sudjelovali u istraživanju su prethodno obaviješteni o svrsi i ciljevima istraživanja te su dali informiranu suglasnost za sudjelovanje koja je dostupna u Poliklinici Glavić.

Prije početka robotske neurorehabilitacije, svaki pacijent koji sudjeluje u istraživanju je bio podvrgnut prvom testiranju kako bi se ustanovio njihov početni status odnosno *baseline*. To uključuje provođenje standardiziranih testova: “*Timed Up and Go*” (TUG), “*Berg Balance Scale*” (BBS) i “*10 Meter Walk Test*” (10MWT). Mjerenja su provedena od strane

fizioterapeuta koji su zaposleni u Poliklinici Glavić te posjeduju znanja o provođenju navedenih testova.

Nakon prvog testiranja, pacijenti su uključeni u ciklus robotske neurorehabilitacije. Terapijski ciklus je trajao 12 tjedana te se provodio pod nadzorom specijaliziranih terapeuta za neurorehabilitaciju. Terapije su uključivale upotrebu različitih robotskih uređaja uz upotrebu konvencionalnih metoda rehabilitacije te su individualno prilagođene kliničkom stanju i ciljevima pojedinog pacijenta. Svaka terapija kao i provedena mjerenja su dokumentirani u službenom programu Poliklinike Glavić kao i u robotskim uređajima na kojima je određena terapija provedena. Osim u navedenom standardizirani testovi se nalaze i u papirnatom obliku te se sukladno Zakonu i pravilnicima i pohranjuju.

Nakon završetka 12 tjedana terapije, pacijenti su ponovno bili podvrgnuti istim će istim funkcionalnim testovima: *“Timed Up and Go”* (TUG), *“Berg Balance Scale”* (BBS) i *“10 Meter Walk Test”* (10 MWT) kako bi se ocijenio njihov napredak tijekom terapije. Rezultati ovog drugog testiranja dokumentirani su na jednak način kao i početni.

Nadalje, prije početka istraživanja, dobivena je suglasnost od Etičkog povjerenstva ustanove kako bi se osiguralo da istraživanje ispunjava sve etičke smjernice i zahtjeve. Privatnost i povjerljivost informacija pacijenata strogo su poštovani tijekom cijelog istraživanja.

Nakon prikupljenih podataka, provela se je statistička analiza kako bi se usporedili rezultati testiranja prije i nakon terapije. Statističke metode upotrijebljene su kako bi se utvrdila statistički značajna razlika u učinkovitosti terapije između pacijenata s traumatskom ozljedom mozga te pacijenata nakon moždanog udara.

### 6.3. Mjerni instrumenti i varijable

Mjerni instrumenti i varijable će zajedno omogućiti prikupljanje i analizu podataka potrebnih za usporedbu učinkovitosti robotske neurorehabilitacije između pacijenata s traumatskom ozljedom mozga i pacijenata nakon moždanog udara, te identifikaciju potencijalnih čimbenika koji mogu utjecati na oporavak. Mjerni instrumenti koji se proveli su u obliku standardiziranih testova koji se koriste u fizioterapiji. U suvremenoj fizioterapiji fokus je na zdravlju i kvaliteti života bolesnika, a ne na patologiji i bolesti. Zbog toga se koristi



Međunarodna klasifikacija funkcioniranja, invaliditeta i zdravlja (ICF). Temelji se na biopsihosocijalnom modelu i omogućuje detaljnu procjenu ukupnog funkcionalnog statusa pacijenta (HKF: Kliničke smjernice u fizikalnoj terapiji, 2011.).

- Test “*Timed Up and Go*” (TUG) je jednostavan test kojim se procjenjuje rizik od pada. Potrebni materijali za ovaj test su štoperica, jedna stolica s naslonom za ruke i traka kojom se označi staza od 3 metra. Pacijent nosi svoju uobičajenu obuću i može koristiti protezu ili bilo koje pomagalo za hod (ukoliko je korišteno pomagalo prilikom testiranja, istoje potrebno dokumentirati). TUG počinje u sjedećem položaju na stolici zatim na znak fizioterapeuta pacijent ustaje i hoda po stazi od 3 metra, okreće se, vraća se do stolice i sjeda na nju. Test završava kada pacijent ponovno sjedne na stolicu. Osim brzine koja se mjeri prilikom izvršavanja testa, potrebno je i promatrati pacijenta, tj. njegov hod koji uključuje duljinu hoda i faze te posturalnu stabilnost. Sve navedeno se može dokumentirati.
- “*Berg Balance Scale*” (BBS) se koristi za objektivnu procjenu pacijentovih sposobnosti u održavanju ravnoteže prilikom izvođenja niza određenih zadataka. BBS se sastoji od 14 zadataka i boduje se ordinalnom ljestvicom od 0 do 4. Ocjena 0 označava najnižu razinu, dok ocjena 4 označava najvišu razinu sposobnosti obavljanja zadatka. Za ovaj test potrebno je ravnalo, dvije standardne stolice (jedna s naslonom za ruke i jedna bez), stepenica, štoperica i slobodan prostor od nekoliko metara. Ovom skalom se ne procjenjuje pacijentov hod.
- “*10 Meter Walk Test*” (10 MWT) je standardizirani test koji se koristi za procjenu brzine hodanja u metrima u sekundi na kratkoj udaljenosti odnosno udaljenost [1]. Može se koristiti za određivanje funkcionalne pokretljivosti, hoda i vestibularne funkcije. Potrebna oprema su štoperica te jasna staza s postavljenom udaljenosti (6, 8, 10 metara duljine ovisno o testiranoj udaljenosti) gdje se bilježi ukupno vrijeme potrebno za kretanje od 6 metara. Ukupno vrijeme se bilježi u m/s.

Varijable u ovom istraživanju odnose se na dijagnozu gdje će dijagnoza biti zabilježena kao kategorička varijabla, s dvije kategorije: „Traumatska ozljeda mozga” i „Moždani udar”. Ova varijabla će omogućiti usporedbu učinkovitosti terapije između dvije različite neurološke populacije. Osim varijable dijagnoze, varijabla koja će se dokumentirati je i dob pacijenata kako bi se utvrdilo postoji li povezanost dobi s rezultatima testiranja. Spol pacijenata bit će zabilježen kao kategorička varijabla kako bi se omogućila analiza razlika u rezultatima između

muškaraca i žena. Na kraju, varijabla koja se odnosi na rezultate testova na početku i na kraju ciklusa neurorehabilitacije robotikom koristiti će se za usporedbu. Razlika između početnih i završnih rezultata bit će izračunata i analizirana kako bi se procijenio napredak svakog pacijenta tijekom terapije.

#### 6.4. Metode obrade podataka

Metode obrade podataka omogućuju sistematsku i statistički valjanu analizu rezultata kako biste došli do relevantnih zaključaka o učinkovitosti robotske neurorehabilitacije kod pacijenata nakon traumatske ozljede mozga i moždanog udara. Svi prikupljeni kategorijski podaci prikazani su apsolutnim i relativnim frekvencijama, dok su numerički podaci prikazani medijanom i interkvartilnim rasponom. Za testiranje normalnosti distribucije korišten je Shapiro-Wilksov test, a rezultati su prezentirani u tablicama i grafički.

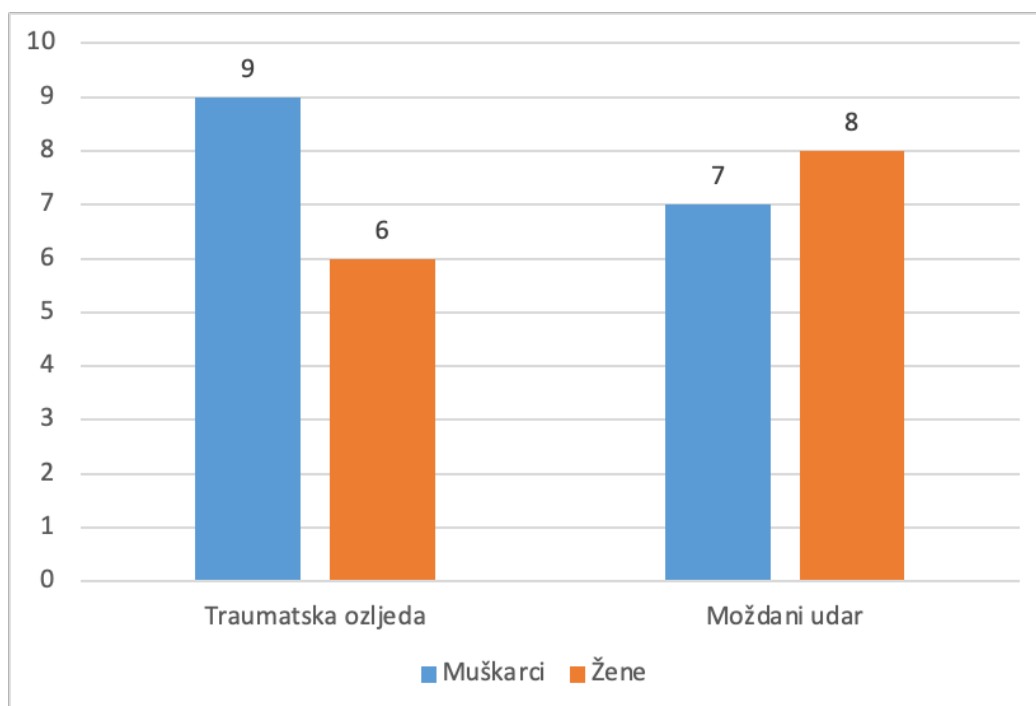
Za statističku analizu korištene su standardne statističke metode. Za usporedbu kategorijskih podataka korišten je Hi-kvadrat test. Razlike između dvije nezavisne skupine numeričkih podataka testirane su neparametrijskim Mann-Whitney U testom, dok su razlike između dvije zavisne skupine, odnosno ponovljenih mjerenja testirane Wilcoxonovim testom.

Za statističku analizu podataka korišteni su programski sustavi MedCalc (inčica 22.009, MedCalc Software Ltd, Ostend, Belgium) uz odabranu razinu značajnosti od  $\alpha = 0,05$ . Sve P vrijednosti su dvostrane (Petz B. i suradnici, 2012.).

## 7. REZULTATI

U istraživanju je sudjelovalo ukupno 30 ispitanika sa podjednakom zastupljenošću oba spola (53,3 % muških ispitanika). Ispitanici su bili podijeljeni u dvije jednake skupine, na pacijente s traumatskom ozljedom mozga i pacijente nakon moždanog udara. Oba spola su bila podjednako zastupljena (Hi-kvadrat test,  $P = 0,47$ ) u svakoj od dvije skupine pacijenata (Slika 1).

Slika 1. Distribucija po spolu između pacijenata s traumatskom ozljedom mozga i pacijenata nakon moždanog udara



U idućim poglavljima slijede rezultati analize promjene u motoričkim funkcijama, ravnoteži i brzini hodanja kod pacijenata prije i nakon dvanaest tjedana terapije robotskom neurorehabilitacijom za pojedinu skupinu pacijenata. U zadnjem dijelu rezultata prikazani su rezultati usporedbe učinkovitosti robotske neurorehabilitacije između pacijenata s traumatskom ozljedom mozga i pacijenata nakon moždanog udara.

### 7.1. Promjene kod pacijenata s traumatskom ozljedom mozga nakon dvanaest tjedana terapije robotskom neurorehabilitacijom

Apsolutno kod svih 15 pacijenata s traumatskom ozljedom mozga uočeno je poboljšanje nakon dvanaest tjedana terapije robotskom neurorehabilitacijom.

Pa tako je statistički značajno prosječno poboljšanje motoričkih funkcija mjereno TUG testom (Wilcoxon test,  $P < 0,001$ ). Također statistički je značajno prosječno poboljšanje ravnoteže mjereno BBS testom (Wilcoxon test,  $P < 0,001$ ), te je također u prosjeku statistički značajno i poboljšanje u brzini hoda mjereno 10 MWT testom (Wilcoxon test,  $P < 0,001$ ).

Značajno prosječno poboljšanje uz izrazito male  $P$  vrijednosti dodatno se očituje i sa Hodges-Lehmann razlikom medijana, apsolutnom razlikom u poboljšanju između početnih i završnih mjerenih prosječnih vrijednosti cijele skupine pacijenata (Tablica 1).

Tablica 1. Poboljšanje kod pacijenata s traumatskom ozljedom mozga nakon terapije

Promatrane varijable	Medijan (interkvartilni raspon)		Hodges-Lehmann razlika medijana	95%CI	P*
	Početno mjerenje	Završno mjerenje			
<i>Poboljšanje motorike mjereno Timed up and Go” (TUG) testom</i>					
TUG	42,2 (24,0 do 56,0)	24,3 (17,4 do 32,8)	-14,3	-22,8 do -6,5	<0,001
<i>Poboljšanje ravnoteže mjereno “Berg balance scale” (BBS) testom</i>					
BBS	38,0 (28,3 do 42,8)	48,0 (38,5 do 49,8)	9,0	6,5 do 13,0	<0,001
<i>Poboljšanje hoda mjereno “10 meter walk test” (10 MWT) testom</i>					
10 MWT	23,1 (18,7 do 38,9)	13,3 (9,7 do 23,2)	-10,0	-12,9 do -7,3	<0,001

\*Wilcoxon test

## 7.2. Promjene kod pacijenata nakon moždanog udara nakon dvanaest tjedana terapije robotskom neurorehabilitacijom

Također kod svih petnaest pacijenata koji su prošli dvanaest tjedana terapije robotskom neurorehabilitacijom, a nakon doživljenog moždanog udara uočeno je veće ili manje poboljšanje nakon dvanaest tjedana terapije robotskom neurorehabilitacijom.

Pa tako je statistički značajno prosječno poboljšanje motoričkih funkcija mjereno TUG testom (Wilcoxon test,  $P < 0,001$ ). Također statistički je značajno prosječno poboljšanje ravnoteže mjereno BBS testom (Wilcoxon test,  $P < 0,001$ ), te je također statistički značajno i prosječno poboljšanje u brzini hoda mjereno 10 MWT testom (Wilcoxon test,  $P < 0,001$ ).

Značajno prosječno poboljšanje uz izrazito male  $P$  vrijednosti dodatno se očituje i sa Hodges-Lehmann razlikom medijana, apsolutnom razlikom u poboljšanju između početnih i završnih mjerenih prosječnih vrijednosti cijele skupine pacijenata (Tablica 2).

Tablica 2. Poboljšanje kod pacijenata nakon doživljenog moždanog udara, a nakon obavljenih 12 tjedana terapije

Promatrane varijable	Medijan (interkvartilni raspon)		Hodges-Lehmann razlika medijana	95%CI	P*
	Početno mjerenje	Završno mjerenje			
<i>Poboljšanje motorike mjereno "Timed up and Go" (TUG) testom</i>					
TUG	25,1 (17,8 do 63,5)	21,4 (13,1 do 45,3)	-12,5	-23,2 do -5,5	<0,001
<i>Poboljšanje ravnoteže mjereno "Berg balance scale" (BBS) testom</i>					
BBS	41,0 (29,3 do 44,8)	49,0 (42,5 do 52,0)	7,5	5,5 do 11,0	<0,001
<i>Poboljšanje hoda mjereno "10 meter walk test" (10 MWT) testom</i>					
10 MWT	20,0 (14,9 do 37,1)	14,0 (9,7 do 26,7)	-8,3	-14,9 do -4,9	<0,001

\*Wilcoxon test

7.3. Usporedba učinkovitosti robotske neurorehabilitacije između pacijenata s traumatskom ozljedom mozga i pacijenata nakon moždanog udara

Usporedbom Hodges-Lehmann razlika medijana u prethodnim tablicama (Tablica 1 i Tablica 2) uočava se da su veće razlike za sva tri mjerenja navedenim testovima kod grupe pacijenata s traumatskom ozljedom mozga. Iz toga slijedi da je veće prosječno poboljšanje kod navedene skupine pacijenata, odnosno da postoji razlika u učinkovitosti robotske neurorehabilitacije. Čini se da je veća učinkovitost terapije robotske neurorehabilitacije kod pacijenata s traumatskom ozljedom mozga.

Daljnjom statističkom analizom uspoređena su pojedina poboljšanja (razlike između završnih i početnih mjerenja) te također početna stanja pacijenata radi bolje procjene učinkovitosti robotske neurorehabilitacije između pacijenata s traumatskom ozljedom mozga i pacijenata nakon moždanog udara (Tablica 3).

Tablica 3. Razlike u početnom stanju između pacijenata s traumatskom ozljedom glave i pacijenata nakon doživljenog moždanog udara

Promatrane varijable	Medijan (interkvartilni raspon)		Hodges-Lehmann razlika medijana	95%CI	P*
	S traumatskom ozljedom glave	Nakon doživljenog moždanog udara			
<i>Početno stanje motorike mjereno "Timed up and Go" (TUG) testom</i>					
TUG	42,2 (24,0 do 56,0)	25,1 (17,8 do 63,5)	-4,0	-21,4 do 18,7	0,77
<i>Početno stanje ravnoteže mjereno "Berg balance scale" (BBS) testom</i>					
BBS	38,0 (28,3 do 42,8)	41,0 (29,3 do 44,8)	2,0	-5,0 do 11,0	0,51
<i>Početno stanje hoda mjereno "10 meter walk test" (10 MWT) testom</i>					
10 MWT	23,1 (18,7 do 38,9)	20,0 (14,9 do 37,1)	-1,6	-11,9 do 12,8	0,72

\*Mann-Whitney test

Usporedba početnog stanja motoričkih funkcija, ravnoteže te brzine hoda nije pokazala statistički značajne razlike između pacijenata s traumatskom ozljedom mozga i pacijenata nakon moždanog udara. Mala razlika između prosječnog početnog stanja između dvije skupine pacijenata dodatno se očituje i sa relativno malom Hodges-Lehmann razlikom medijana, (Tablica 3).

Iz razloga što nema razlike između početnih stanja dvije skupine pacijenata bilo je smisleno usporediti razinu poboljšanja između dvije skupine pacijenata (razina poboljšanja je apsolutna razlika između početnog i završnog mjerenja pojedinim testom). Rezultati analize nisu pokazali statistički značajnu razliku u učinkovitosti terapije robotske neurorehabilitacije između pacijenata s traumatskom ozljedom mozga i pacijenata nakon moždanog udara, odnosno nije nađena razlika u nivou poboljšanja ni motorike, ni ravnoteže niti brzine hoda (Tablica 4).

Tablica 4. Razlike razini poboljšanja između pacijenata s traumatskom ozljedom glave i pacijenata nakon doživljenog moždanog udara

Promatrane varijable	Medijan (interkvartilni raspon)		Hodges-Lehmann razlika medijana	95%CI	P*
	S traumatskom ozljedom glave	Nakon doživljenog moždanog udara			
<i>Razina poboljšanja motorike mjereno "Timed up and Go" (TUG) testom</i>					
TUG	10,8 (5,8 do 23,7)	9,0 (3,1 do 23,6)	-1,8	-10,4 do 7,6	0,74
<i>Razina poboljšanja ravnoteže mjereno "Berg balance scale" (BBS) testom</i>					
BBS	9,0 (6,3 do 12,8)	7,0 (4,3 do 10,8)	-1,0	-5,0 do 2,0	0,39
<i>Razina poboljšanja hoda mjereno "10 meter walk test" (10 MWT) testom</i>					
10 MWT	9,8 (7,2 do 14,3)	7,6 (3,8 do 14,8)	-1,6	-6,2 do 3,4	0,41

\*Mann-Whitney test

Kako nije nađena razlika u razini poboljšanja između dvije skupine pacijenata, napravljena je usporedba i završnih mjerenja nakon provedene rehabilitacije. Međutim, ni nakon provedene rehabilitacije nije nađena značajna razlika između pacijenata s traumatskom ozljedom glave i pacijenata nakon doživljenog moždanog udara niti po stanju motoričkih funkcija, niti po pitanju ravnoteže niti u brzini hodanja (Tablica 5).

Tablica 5. Razlike u završnom stanju nakon provedene terapije između pacijenata s traumatskom ozljedom glave i pacijenata nakon doživljenog moždanog udara

Promatrane varijable	Medijan (interkvartilni raspon)		Hodges-Lehmann razlika medijana	95%CI	P*
	S traumatskom ozljedom glave	Nakon doživljenog moždanog udara			
<i>Početno stanje motorike mjereno "Timed up and Go" (TUG) testom</i>					
TUG	24,3 (17,4 do 32,8)	21,4 (13,1 do 45,3)	-2,3	-12,0 do 15,7	0,68
<i>Početno stanje ravnoteže mjereno "Berg balance scale" (BBS) testom</i>					
BBS	48,0 (38,5 do 49,8)	49,0 (42,5 do 52,0)	1,0	-4,0 do 7,0	0,60
<i>Početno stanje hoda mjereno "10 meter walk test" (10 MWT) testom</i>					
10 MWT	13,3 (9,7 do 23,2)	14,0 (9,7 do 26,7)	1,0	-6,7 do 8,2	0,84

\*Mann-Whitney test

#### 7.4. Usporedba učinkovitosti robotske neurorehabilitacije između muških i ženskih pacijenata

Slijede rezultati statističke analize poboljšanja (razlike između završnih i početnih mjerenja) te početnih i završnih mjerenja pacijenata podijeljenih prema spolu.

Usporedba početnog stanja motoričkih funkcija, ravnoteže te brzine hoda nije pokazala statistički značajne razlike između muških i ženskih pacijenata no neke razlike jesu detektirane Hodges-Lehmann razlikom medijana (Tablica 6).



Tablica 6. Razlike u početnom stanju između muških i ženskih pacijenata

Promatrane varijable	Medijan (interkvartilni raspon)		Hodges-Lehmann razlika medijana	95%CI	P*
	Muški pacijenti	Ženski pacijenti			
<i>Početno stanje motorike mjereno Timed up and Go (TUG) testom</i>					
TUG	44,6 (27,2 do 63,0)	24,9 (17,5 do 47,2)	-14,7	-34,1 do 6,8	0,19
<i>Početno stanje ravnoteže mjereno "Berg balance scale" (BBS) testom</i>					
BBS	36,0 (26,0 do 43,5)	39,5 (30,0 do 44,0)	3,0	-5,0 do 11,0	0,41
<i>Početno stanje hoda mjereno "10 meter walk test" (10 MWT) testom</i>					
10 MWT	28,7 (19,6 do 39,8)	18,0 (14,1 do 34,5)	-6,2	-20,2 do 4,0	0,14

\*Mann-Whitney test

Iz razloga što nema statistički značajne razlike između početnih stanja muških i ženskih pacijenata bilo je smisleno usporediti razinu poboljšanja između dvije skupine pacijenata. Rezultati analize nisu pokazali statistički značajnu razliku po stanju motoričkih funkcija, niti po pitanju ravnoteže (Hodges-Lehmann razlika medijana je također izrazito mala). No pokazalo se da muški pacijenti imaju značajno veće (Mann-Whitney test,  $P = 0,03$ ) poboljšanje brzine hoda (Tablica 7).

Tablica 7. Razlike razini poboljšanja između muških i ženskih pacijenata

Promatrane varijable	Medijan (interkvartilni raspon)		Hodges-Lehmann razlika medijana	95%CI	P*
	Muški pacijenti	Ženski pacijenti			
<i>Razina poboljšanja motorike mjereno "Timed up and Go" (TUG) testom</i>					
TUG	14,5 (4,4 do 25,7)	8,1 (4,1 do 19,0)	-2,3	-13,8 do 4,3	0,52
<i>Razina poboljšanja ravnoteže mjereno "Berg balance scale" (BBS) testom</i>					
BBS	8,0 (4,5 do 12,5)	7,0 (6,0 do 11,0)	0,0	-3,0 do 3,0	0,98
<i>Razina poboljšanja hoda mjereno "10 meter walk test" (10 MWT) testom</i>					
10 MWT	11,0 (7,3 do 16,8)	7,3 (2,4 do 10,1)	-4,5	-9,6 do -0,6	0,03

\*Mann-Whitney test

Usporedba završnih mjerenja nakon provedene rehabilitacije između muških i ženskih pacijenata također nije pokazala statistički značajnu razliku ni po stanju motoričkih funkcija, niti po pitanju ravnoteže niti u brzini hodanja (Tablica 8).

Tablica 8. Razlike u završnom stanju nakon terapije između muških i ženskih pacijenata

Promatrane varijable	Medijan (interkvartilni raspon)		Hodges-Lehmann razlika medijana	95%CI	P*
	Muški pacijenti	Ženski pacijenti			
<i>Početno stanje motorike mjereno "Timed up and Go" (TUG) testom</i>					
TUG	26,4 (21,2 do 44,8)	18,7 (13,0 do 24,4)	-8,7	-20,1 do 1,9	0,12
<i>Početno stanje ravnoteže mjereno "Berg balance scale" (BBS) testom</i>					
BBS	45,0 (35,0 do 50,0)	49,0 (45,0 do 52,0)	3,0	-2,0 do 10,0	0,33
<i>Početno stanje hoda mjereno "10 meter walk test" (10 MWT) testom</i>					
10 MWT	15,3 (9,9 do 25,7)	12,5 (9,0 do 18,4)	-1,8	-9,2 do 5,3	0,58

\*Mann-Whitney test

## 8. RASPRAVA

Ovo istraživanje se temeljilo na analizi učinkovitosti robotske neurorehabilitacije kod pacijenata s traumatskom ozljedom mozga i pacijenata nakon moždanog udara. Ispitali smo kako ova terapija utječe na motoričke funkcije, ravnotežu i brzinu hodanja kod oba tipa pacijenata te smo uspoređivali rezultate između njih. Također smo analizirali razlike između muških i ženskih pacijenata u pogledu učinkovitosti terapije.

Statistički je značajno poboljšanje nakon rehabilitacije kod obje skupine pacijenata te s obzirom na postavljenu hipotezu, možemo zaključiti da je naša hipoteza o učinkovitosti robotske neurorehabilitacije, potvrđena. Statistički analizirajući rezultate rehabilitacije, uočili smo značajno poboljšanje kod obje skupine pacijenata, onih s traumatskom ozljedom mozga i onih koji su pretrpjeli moždani udar. Nadalje, primijetili smo značajno poboljšanje u motoričkim funkcijama, ravnoteži i brzini hodanja kod obiju skupina pacijenata nakon provedene terapije. Ovi rezultati ukazuju na važnost robotske neurorehabilitacije kao učinkovite metode za oporavak kod osoba koje su pretrpjele različite vrste ozljeda mozga.

Značajno poboljšanje u motoričkim funkcijama, ravnoteži i brzini hodanja ukazuje na pozitivan utjecaj robotske neurorehabilitacije na pacijente s različitim tipovima ozljeda. Ovi rezultati podupiru važnost ove terapije u procesu oporavka, neovisno o vrsti početne traume, što može biti ključno za pružanje adekvatne skrbi i poboljšanje kvalitete života pacijenata.

Sukladno provedenom istraživanju te statističkim podacima, ne postoji značajna razlika u učinkovitosti robotske neurorehabilitacije između pacijenata s traumatskom ozljedom mozga i pacijenata nakon moždanog udara. Kao što smo ranije istaknuli, iako smo vidjeli statistički značajna poboljšanja u obje skupine pacijenata, naši rezultati nisu pružili dovoljno statističkih dokaza da bi se odbacila nulta hipoteza. Kao što je navedeno u rezultatima, Hodges-Lehmannova usporedba medijanskih razlika u prethodnim tablicama ukazuje na značajno veće razlike u svim triju mjerenjima provedenim testovima kod skupine pacijenata s traumatskom ozljedom mozga. To sugerira da je prosječno poboljšanje kod ove skupine pacijenata veće, što ukazuje na razlike u učinkovitosti robotske neurorehabilitacije. Čini se da je terapija robotske neurorehabilitacije efikasnija kod pacijenata s traumatskom ozljedom mozga no uzorak je nedovoljan kako bi tvrdili da postoji statistički značajna razlika.

Kada se radi o usporedbi rezultata prema spolu, nismo pronašli statistički značajne razlike, osim u većem poboljšanju brzine hodanja kod muških pacijenata. Međutim, važno je napomenuti da je ova razlika vjerojatno povezana s razlikom u početnim mjerenjima između

muških i ženskih pacijenata. Na temelju analize, primijetili smo da su muški pacijenti imali nešto nižu početnu razinu brzine hodanja u usporedbi s ženskim pacijentima. Stoga, veće poboljšanje kod muških pacijenata može biti rezultat njihovog većeg potencijala za napredak na ovom području.

Važno je napomenuti da ovaj istraživački rad ima svoje ograničenje u obliku relativno malog uzorka pacijenata. Budući da je istraživanje provedeno na 30 ispitanika, treba uzeti u obzir da su rezultati podložni varijacijama te bi isto istraživanje na većem broju pacijenata moglo pružiti preciznije i generalizirane zaključke. Ovo ograničenje istraživanja naglašava potrebu za budućim istraživanjima koja će istražiti slične parametre na većem broju sudionika kako bi se potvrdili ili osporili ovi rezultati.

## 9. ZAKLJUČAK

U sažetku provedenog istraživanja analizirali smo učinkovitost robotski potpomognute neurorehabilitacije u procesu oporavka pacijenata nakon traumatske ozljede mozga (TBI) i moždanog udara (MU). Ispitali smo kako ova terapija utječe na motoričke funkcije, ravnotežu i brzinu hoda kod obje vrste pacijenata te usporedili rezultate. Također smo analizirali razlike između pacijenata i pacijenata u pogledu terapijske učinkovitosti.

Naša hipoteza o učinkovitosti robotski potpomognute neurorehabilitacije potvrđena je statistički značajnim poboljšanjem motoričkih funkcija, ravnoteže i brzine hoda u obje skupine pacijenata nakon tretmana. To pokazuje važnost robotske neurorehabilitacije kao učinkovite metode za pomoć ljudima u oporavku od raznih vrsta ozljeda mozga.

Međutim, naši rezultati nisu pružili dovoljno statističkih dokaza za odbacivanje nulte hipoteze o jednakoj terapijskoj učinkovitosti za pacijente s traumatskom ozljedom mozga i moždanim udarom. Međutim, primijetili smo trend prema većem poboljšanju pacijenata s traumatskom ozljedom mozga, što sugerira da bi ova terapija mogla biti učinkovitija u ovoj populaciji. Potrebne su daljnje studije s većim brojem sudionika kako bi se potvrdili ili opovrgli ovi rezultati.

Što se tiče spolnih razlika, nismo pronašli statistički značajne razlike, osim većeg poboljšanja brzine hoda kod muškaraca. Međutim, ta je razlika vjerojatno povezana s različitim osnovnim karakteristikama između muških i ženskih pacijenata i ne ukazuje na intrinzičnu razliku u odgovoru na liječenje između spolova.

Treba napomenuti da je ova studija provedena na relativno malom uzorku pacijenata, što je ograničenje studije. Rezultati mogu varirati, a ista studija na većem broju pacijenata mogla bi dati preciznije i generalizirajuće zaključke. Ovo ograničenje istraživanja naglašava potrebu za budućim studijama koje procjenjuju slične parametre na većem broju sudionika kako bi se potvrdili ili osporili ovi rezultati.

U konačnici, robotska neurorehabilitacija je obećavajuća opcija liječenja za pacijente s traumatskom ozljedom mozga i moždanim udarom, s potencijalom za poboljšanje motoričkih funkcija, ravnoteže i brzine hodanja. Daljnja istraživanja i klinički rad mogli bi pridonijeti boljem razumijevanju i optimizaciji ove terapije kako bi se poboljšala kvaliteta života pacijenata koji se oporavljaju od ovih teških neuroloških bolesti.

## 10. LITERATURA

1. Aida, J., Chau, B., & Dunn, J. (2018). Immersive virtual reality in traumatic brain injury rehabilitation: a literature review. *Neuro Rehabilitation*, 42(4), 441-448. <https://doi.org/10.3233/NRE-172361>.
2. Bakran, Z. (2011). Dugoročni ishod liječenja i rehabilitacije osoba s traumatskom ozljedom mozga (disertacija). Medicinski fakultet Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.
3. Bland, D. C., Zampieri, C., & Damiano, D. L. (2011). Effectiveness of physical therapy for improving gait and balance in individuals with traumatic brain injury: A systematic review. *Brain Injury*, 25, 664-679. doi: 10.3109/02699052.2011.576306.
4. Calabrò, R. S., Cacciola, A., Bertè, F., Manuli, A., Leo, A., Bramanti, A., ... Bramanti, P. (2016). Robotic gait rehabilitation and substitution devices in neurological disorders: Where are we now? *Neurological Sciences*, 37, 503-514. doi: 10.1007/s10072-016-2474-4.
5. Chua, K. S. G., & Kuah, C. W. K. (2017). Innovating with rehabilitation technology in the real world: promises, potentials, and perspectives. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 96(10), S150-S156. doi: 10.1097/PHM.0000000000000799.
6. Dewan, M. C., Rattani, A., Gupta, S., Baticulon, R. E., Hung, Y. C., Punchak, M., ... Shrime, M. G. (2019). Estimating the global incidence of traumatic brain injury. *Journal of Neurosurgery*, 130, 1080-1097. doi: 10.3171/2017.10.JNS17352.
7. Donnan, G. A., Fisher, M., Macleod, M., & Davis, S. M. (2008). Stroke. *Lancet*, 371(9624), 1612-1623. doi: 10.1016/S0140-6736(08)60694-7.
8. Gassert, R., & Dietz, V. (2018). Rehabilitation robots for the treatment of sensorimotor deficits: A neurophysiological perspective. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 15, 46. doi: 10.1186/s12984-018-0383-x.
9. Gueye, T., Dedkova, M., Rogalewicz, V., Grunerova-Lippertova, M., & Angerova, Y. (2021). Early post-stroke rehabilitation for upper limb motor function using virtual reality and exoskeleton: equally efficient in older patients. *Neurol Neurochir Pol*, 55(1), 91-96.
10. Hedna, V. S. (2013). Hemispheric differences in ischemic stroke: is left-hemisphere stroke more common? *Journal of Clinical Neurology*, 9(2), 97-102.

11. HKF: Kliničke smjernice u fizikalnoj terapiji, Hrvatska komora fizioterapeuta, Zagreb, 2011. Dostupno na:  
[http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42407/9241545429\\_bos\\_lat.pdf;jsessionid=DD67922429BB6DD76EF3637131F2B23E?sequence=3](http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42407/9241545429_bos_lat.pdf;jsessionid=DD67922429BB6DD76EF3637131F2B23E?sequence=3).
12. Huang, H., Wolf, S. L., & He, J. (2006). Recent developments in biofeedback for neuromotor rehabilitation. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 3(1), 11. doi: 10.1186/1743-0003-3-11.
13. Hughes, A. M., Bouças, S. B., Burridge, J. H., et al. (2016). Evaluation of upper extremity neurorehabilitation using technology: a European Delphi consensus study within the EU COST action network on robotics for neurorehabilitation. *J Neuroeng Rehabil*, 13(1), 86.
14. Hrvatski zavod za javno zdravstvo. *Ozljede u Republici Hrvatskoj HZJZ*; 2014, str. 31–6. Dostupno na: <https://www.hzjz.hr/wp-content/uploads/2013/11/Ozljede-u-RH1.pdf>.
15. Janca, A., Aarli, J. A., Prilipko, L., Dua, T., Saxena, S., & Saraceno, B. (2006). WHO/WFN survey of neurological services: a worldwide perspective. *Journal of the Neurological Sciences*, 247(1), 29–34. doi: 10.1016/j.jns.2006.03.003.
16. Kim, H. J., Tsao, J. W., & Stanfill, A. G. (2018). The current state of biomarkers of mild traumatic brain injury. *JCI Insight*, 3, e97105. DOI: 10.1172/jci.insight.97105.
17. Maas, A. I. R., Stocchetti, N., & Bullock, R. (2008). Moderate and severe traumatic brain injury in adults. *Lancet Neurology*, 7, 728-741. DOI: 10.1016/S1474-4422(08)70164-9.
18. Masiero, S., & Carraro, E. (2008). Upper limb movements and cerebral plasticity in post-stroke rehabilitation. *Aging Clinical Experiences Resume*, 20(2), 103-108.
19. Mehrholz, J., Pohl, M., Platz, T., et al. (2018). Electromechanical and robot-assisted arm training for improving activities of daily living, arm function, and arm muscle strength after stroke. *Cochrane Database Syst Rev*, 9, CD006876.
20. Morone, G., Palomba, A., Martino Cinnera, A., Agostini, M., Aprile, I., Arienti, C., ... (2021). Systematic review of guidelines to identify recommendations for upper limb robotic rehabilitation after stroke. *Eur J Phys Rehabil Med*, 57(2), 238-245.
21. Patton, J., Small, S. L., & Rymer, W. Z. (2008). Functional restoration for the stroke survivor: informing the efforts of engineers. *Top Stroke Rehabil* 2008,15(6):521-541.
22. Petz, B., Kolesarić, V., & Ivanec, D. (2012). *Petzova statistika: osnovne statističke metode za nematematičare*. Naklada Slap.

23. Raine, S., Meadows, L., & Linch-Ellerington, M. (2009). *Bobath Concept: Theory and Clinical Practice in Neurological Rehabilitation*. UK: Blackwell Publishing.
24. Sims, N. R., & Muyderman, H. (2009). Mitochondria, oxidative metabolism and cell death in stroke. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1802(1), 80-91. doi: 10.1016/j.bbadis.2009.09.003.
25. SPREAD. (2016). *Ictus cerebrale: linee guida italiane di prevenzione e trattamento Raccomandazioni e Sintesi VIII edizione*.
26. Tagliaferri, F., Compagnone, C., Korsic, M., Servadei, F., & Kraus, J. (2006). A systematic review of brain injury epidemiology in Europe. *Acta Neurochir (Wien)*, 148, 255-268. DOI: 10.1007/s00701-005-0651-y.
27. Tyson, S. F., & Selley, A. B. (2006). The effect of perceived adherence to the Bobath concept on physiotherapists' choice of intervention used to treat postural control after stroke. *Disability and Rehabilitation*, 29(5), 395-401.
28. Veerbeek, J. M., Langbroek-Amersfoort, A. C., van Wegen, E. E. H., Meskers, C. G. M., & Kwakkel, G. (2017). Effects of robot-assisted therapy for the upper limb after stroke: a systematic review and meta-analysis. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 31(2), 107-121. doi: 10.1177/1545968316666957.
29. Wagner, T. H., Lo, A. C., Peduzzi, P., Bravata, D. M., Huang, G. D., Krebs, H. I., ... Guarino, P. D. (2011). An economic analysis of robot-assisted therapy for long-term upper-limb impairment after stroke. *Stroke*, 42(9), 2630-2632. Epub 2011 Jul 14.
30. World Health Organization (WHO). (2008). *The global burden of disease: 2004 Update*.

## 11. PRILOZI

- Slika 1. Distribucija po spolu između pacijenata s traumatskom ozljedom mozga i pacijenata nakon moždanog udara
- Tablica 1. Poboljšanje kod pacijenata s traumatskom ozljedom mozga nakon terapije
- Tablica 2. Poboljšanje kod pacijenata nakon doživljenog moždanog udara, a nakon obavljene dvanaestjedne terapije
- Tablica 3. Razlike u početnom stanju između pacijenata s traumatskom ozljedom glave i pacijenata nakon doživljenog moždanog udara



- Tablica 4. Razlike razini poboljšanja između pacijenata s traumatskom ozljedom glave i pacijenata nakon doživljenog moždanog udara
- Tablica 5. Razlike u završnom stanju nakon provedene terapije između pacijenata s traumatskom ozljedom glave i pacijenata nakon doživljenog moždanog udara
- Tablica 6. Razlike u početnom stanju između muških i ženskih pacijenata
- Tablica 7. Razlike razini poboljšanja između muških i ženskih pacijenata
- Tablica 8. Razlike u završnom stanju nakon terapije između muških i ženskih pacijenata