

# UTJECAJ ROBOTIKE U NEUROREHABILITACIJI HODA KOD OSOBA NAKON MOŽDANOG UDARA

---

Škvorc, Stella

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Visoka škola Ivanić-Grad / Visoka škola Ivanić-Grad**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:258:357180>

Rights / Prava: [Attribution 3.0 Unported](#)/[Imenovanje 3.0](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

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



**VISOKA ŠKOLA IVANIĆ-GRAD**

**PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ FIZIOTERAPIJE**

(studij za stjecanje akademskog naziva: stručni/a prvostupnik/prvostupnica  
fizioterapije; bacc.physioth.)

**Stella Škvorc**

**UTJECAJ ROBOTIKE NA  
NEUROREHABILITACIJU HODA KOD OSOBA  
NAKON MOŽDANOG UDARA**

Završni rad

**Mentor:**

**mag.physioth., Mark Tomaj**

---

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 Visoke škole Ivanić-Grad.

# UTJECAJ ROBOTIKE U NEUROREHABILITACIJI HODA KOD OSOBA NAKON MOŽDANOG UDARA

## Sažetak

Moždani udar, još poznat kao cerebrovaskularni inzult, već dugi niz godina predstavlja vodeći uzrok invaliditeta i smrtnosti diljem cijelog svijeta. Globalno gledano, svake godine više od 10 milijuna ljudi doživi jedan od oblika moždanog udara, dok manji dio koji se procjenjuje na 6,5 milijuna ljudi, umre. Dio ljudi koji prežive ovaj globalni fenomen koji ugrožava živote te narušava zdravlje i kvalitetu života, suočavaju se s posljedicama koje se manifestiraju u obliku smanjene pokretljivosti i smanjene funkcije cijelog organizma. Budući da su najčešća oštećenja kod osoba koje su preživjele moždani udar slabost, gubitak osjeta, spastičnost te poremećena koordinacija, ona dovode do ograničenja pokretljivosti kao što su poteškoće s održavanjem balansa i hod. Kroz proces rehabilitacije, osobama se pokušava povećati kvaliteta života, povećati funkcija, omogućiti ponovna integracija u društvo te povratak svakodnevnim aktivnostima. Paralelno s razvitkom konvencionalnih tehnika za oporavak nakon moždanog udara, započeo je i razvoj moderne tehnologije koja je pronašla svoju primjenu u rehabilitaciji. Primjena robotike pronašla je svoju primjenu u rehabilitaciji osoba nakon moždanog udara, karakteristična po vrlo specifičnim pristupima te po tome što se posebno usredotočuje na sustave čiji je cilj olakšati oporavak oslabljenih senzornih, motoričkih i kognitivnih vještina. Dvije glave kategorije u koje možemo podijeliti robote su egzoskeletni i end effector roboti, od kojih su se obje pokazale učinkovite u praksi. Također, uz primjenu robotike u rehabilitaciji, mogu se primjenjivati i konvencionalne tehnike što dokazano rezultira još boljim oporavkom pacijenata. Najveće prednosti u primjeni robotike su mogućnost povećanja intenziteta treninga u sigurnom okruženju, rasterećenje fizioterapeuta te mogućnost istovremene rehabilitacije više pacijenata koje nadgleda jedan fizioterapeut.

**Ključne riječi:** cerebrovaskularni inzult, moderna tehnologija, kvaliteta života

# **THE EFFECT OF ROBOTICS IN GAIT NEUROREHABILITATION IN PATIENTS AFTER STROKE**

## **Summary**

Stroke, also known as cerebrovascular insult, has been the leading cause of disability and mortality worldwide for many years. Globally, more than 10 million people experience one form of stroke each year, while minority, estimated at 6.5 million, die. People who survive this global phenomenon that threatens lives and impairs health and quality of life, face the consequences that manifest themselves in the form of reduced mobility and reduced function of the whole organism. Because the most common impairments in stroke survivors are weakness, loss of sensation, spasticity, and impaired coordination, they lead to limited mobility such as difficulty maintaining balance and gait. Through the process of rehabilitation, people are trying to increase the quality of life, increase function, enable reintegration into society and return to daily activities. In parallel with the development of conventional techniques for recovery after a stroke, the development of modern technology began, which found its place in rehabilitation. The application of robotics has found its application in the rehabilitation of persons after stroke, characterized by very specific approaches and the fact that it focuses on systems aimed at facilitating the recovery of impaired sensory, motor and cognitive skills. Two main categories into which we can divide robots are exoskeletal and end effector robots, both of which have been proven effective in practice. In addition, with the use of robotics in rehabilitation, conventional techniques can be applied, which has been proven to result in even better recovery of patients. The biggest advantages in the application of robotics are the possibility of increasing the intensity of training in a safe environment, relieving physiotherapists and the possibility of simultaneous rehabilitation of several patients supervised by one physiotherapist.

**Key words:** cerebrovascular insult, modern technology, quality of life

# Sadržaj

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. MOŽDANI UDAR</b> .....	2
2.1. Čimbenici rizika .....	2
2.2. Klasifikacija moždanog udara .....	3
2.2.1. Ishemijski moždani udar .....	3
2.2.2. Hemoragijski moždani udar .....	3
2.3. Klinička slika .....	4
2.4. Posljedice moždanog udara .....	5
2.5. Liječenje i prevencija moždanog udara .....	6
2.5.1. FAST test .....	7
<b>3. NEUROREHABILITACIJA</b> .....	9
3.1. Neuroplastičnost mozga .....	10
3.2. Robotika u neurorehabilitaciji .....	11
3.3. Prednosti robota u rehabilitaciji.....	11
<b>4. ELEKTROMEHANIČKI ROBOTI U REHABILITACIJI HODA</b> .....	13
4.1. Definicija robota .....	13
4.2. Trening hoda uz pomoć robota .....	13
4.3. Podjela robota .....	14
4.3.1. Egzoskeletni roboti .....	14
4.3.1.1. Lokomat .....	15
4.3.1.2. ReoAmbulator .....	16
4.3.1.3. C-Mill .....	18
4.3.2. End-effector roboti.....	19
4.3.2.1. Gait trainer (GT 1).....	20
4.3.2.2. PerPedes .....	21
4.3.3. Roboti za nadzemni trening hoda.....	22
4.3.3.1. Andago .....	23
<b>5. PRIMJENA ROBOTIKE U HRVATSKOJ</b> .....	25
5.1. Poliklinika Glavić .....	25
<b>6. ZAKLJUČAK</b> .....	27
<b>7. LITERATURA</b> .....	28
<b>8. PRILOZI</b> .....	31

## 1.UVOD

Barišić (2021) te Brinar i suradnici (2019) definiraju moždani udar kao iznenadno i naglo nastalo neurološko oštećenje uzrokovano patološkim procesima nastalim na krvnim žilama. Moždani udar je hitno stanje uzrokovano začepljenjem (ishemijski) ili puknućem (hemoragijski) krvne žile, što za posljedicu ima prekid dotoka krvi u mozak, prekid opskrbe mozga kisikom i hranjivim tvarima. Upravo te posljedice dovode do oštećenja i smrti živčanih stanica u zahvaćenom moždanom tkivu. Neki od najčešćih znakova i simptoma moždanog udara su: iznenadna i nagla oduzetost lica te jednog od ekstremiteta (najčešće na jednoj strani tijela), slabost, smetenost, poteškoće u govoru ili razumijevanju govora, poteškoće s vidom, otežano kretanje, vrtoglavica i jaka glavobolja, gubitak ravnoteže i koordinacije. Posljedice koje moždani udar ostavlja na pacijenta ovise o zahvaćenom dijelu mozga i razini oštećenja, a reflektiraju se kroz motorički deficit, što dovodi do radne i fizičke nesposobnosti, depresije, demencije te kognitivnih poremećaja. Cilj rehabilitacije osoba s preboljelim moždanim udarom je oporavak pacijenta te povratak na stanje prije nastanka moždanog udara što uključuje povratak radne sposobnosti, integracija u društvo i mogućnost nesmetane socijalne interakcije te povratak ostalim aktivnostima svakodnevnog života. Velik broj osoba nakon preboljelog moždanog udara ostane nepokretno, stoga je jedan od glavnih ciljeva rehabilitacije povratak ponovne sposobnosti samostalnog hoda. Dugi niz godina su se razvijale tehnike kojima bi se pacijentu na što kvalitetniji način i u što kraćem periodu vratila samostalna pokretljivost, te je u tom procesu relativno nedavno primjena elektromehaničkih robota pronašla svoju primjenu. Neurorehabilitacija robotikom temelji se na neuroplastičnosti, sposobnosti mozga da se, kao odgovor na oštećenje, stalno modificira i reorganizira stvaranjem novih veza između živčanih stanica koje preuzimaju funkciju oštećenih dijelova. Da bi se kod pacijenta potaknula neuroplastičnost, potrebno je provoditi treninge ponavljajućih vježbi visokog intenziteta kako bi mogao ponovo naučiti izgubljene funkcije. Iako su elektromehanički roboti relativno nov pojam u neurorehabilitaciji, do sada su se pokazali uspješnima kod pacijenata u postizanju impresivnih rezultata u poboljšanju cjelokupnog zdravstvenog stanja.

## **2. MOŽDANI UDAR**

Moždani udar ili cerebrovaskularni inzult je klinički sindrom kojeg Svjetska zdravstvena organizacija definira kao naglo i iznenadno nastali žarišni ili globalni neurološki deficit, sa simptomima koji traju 24 sata ili duže, ili dovode do smrtnog ishoda, a objasniti se može samo cerebrovaskularnim poremećajima. Cerebrovaskularni poremećaji se odnose na skupinu vaskularnih poremećaja koji zahvaćaju moždane ili vratne krvne žile, od kojih su to najčešće arterije, a rijetko vene i venski sinusi. Cerebrovaskularni poremećaji u većini slučajeva za posljedicu imaju poremećaje cirkulacije koji se manifestiraju sindromom moždanog udara (Brinar i sur., 2019).

Nedovoljna opskrba mozga kisikom i hranjivim tvarima su posljedica nastalih poremećaja cirkulacije te upravo zbog tih posljedica dolazi do oštećenja i odumiranja živčanih stanica u zahvaćenim dijelovima mozga. Oštećenje i odumiranje živčanih stanica dovodi do oštećenja funkcija kojima ti dijelovi mozga upravljaju. Oštećenje funkcije ovisi i o mjestu gdje je cirkulacija poremećena, a oštećenje može biti privremeno ili trajno, te može dovesti do ograničenja u svakodnevnim životnim aktivnostima (Erjavec, Delaš, Grozdek Čovčić i Telebuh, 2019).

### **2.1. Čimbenici rizika**

Heblin i Brinar i suradnici čimbenike rizika definiraju kao određena patološka stanja, oboljenja, osobine ili navike, koje pogoduju nastanku određenih bolesti i njenih komplikacija. Brinar i suradnici čimbenike rizika za moždani udar svrstavaju u dvije kategorije, promjenjive i nepromjenjive čimbenike rizika.

Promjenjivi čimbenici rizika su oni na koje možemo utjecati, a neki od njih su hipertenzija, ateroskleroza, kardiovaskularne bolesti, aritmije, konzumacija alkohola i duhana, stres, fizička neaktivnost i prekomjerna tjelesna težina. Dob, spol, rasa i naslijeđe spadaju u nepromjenjive čimbenike rizika te na njih ne možemo utjecati. Prisutnost više čimbenika rizika, duljina njihovog trajanja te izraženost svakog čimbenika individualno, povezani su s pojavom moždanog udara.



## **2.2. Klasifikacija moždanog udara**

Ovisno o mehanizmu nastanka oštećenja mozga, Brinar i sur. (2019) razlikuju ishemijski moždani udar (infarkt mozga, IMU), intracerebralno krvarenje (hemoragijski moždani udar, ICH) i subarahnoidalno krvarenje (SAH).

### **2.2.1. Ishemijski moždani udar**

Najčešći tip moždanog udara, ishemijski moždani udar (IMU), definira se kao smrt moždanog tkiva nastala uslijed prekida moždane cirkulacije zbog začepljenja arterije. Začepljenje arterije može biti uzrokovano trombozom, odnosno stvaranjem ugruška (tromba) koji začepe arteriju te onemogući protok krvi i nutrijenata do dijela mozga koji ta arterija opskrbljuje. Također, začepljenje arterije može biti uzrokovano i embolijom, odnosno otkidanjem komadića ugruška (embolusa) koji se stvorio na drugom mjestu, a putem krvi je doputovao i začepe moždanu arteriju (Oljača, Schnurrer-Luke-Vrbanić, Avancini-Dobrović, i Kraguljac, 2016).

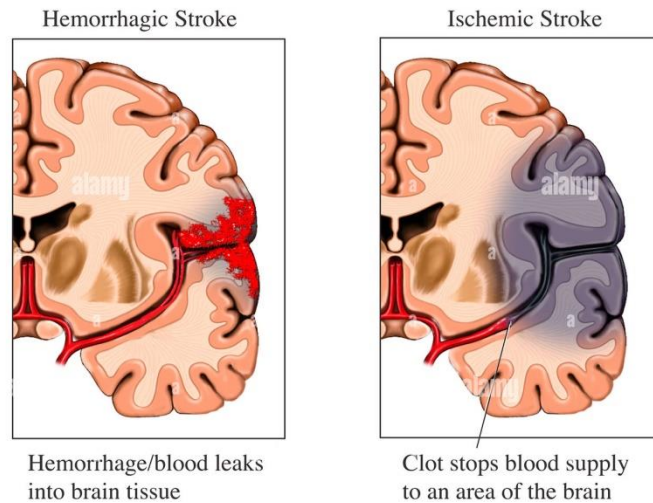
### **2.2.2. Hemoragijski moždani udar**

Hemoragijski moždani udar (ICH) nastaje kao posljedica puknuća krvne žile i prodiranja krvi u okolno tkivo. Za razliku od ishemijskog moždanog udara kojeg karakterizira nedovoljna opskrba krvi, kisika i nutritivnih tvari u određenom dijelu mozga, hemoragijski moždani udar je karakteriziran prevelikom količinom krvi unutar zatvorene intrakranijske šupljine. Zbog pritiska koji stvara hematoma, u području oko krvarenja dolazi do dodatnih komplikacija i oštećenja. Moždane aneurizme<sup>1</sup> i visoki krvni tlak koji oslabljuje krvne žile najčešći su uzroci nastanka hemoragije (Brinar i sur., 2019).

Ako dođe do puknuća oslabljene krvne žile i nastane krvarenje u tkivo mozga, tada je riječ o intracerebralnom krvarenju. Nasuprot tome, ako puknuće krvne žile nastane blizu površine mozga te dođe do krvarenja u prostore cerebrospinalne tekućine oko mozga i leđne moždine, dramatično se povećava pritisak na mozak i može doći do značajnih oštećenja moždanih stanica, tada je riječ o subarahnoidalnom krvarenju (Brinar i sur, 2019).

---

<sup>1</sup> Otekline na moždanim krvnim žilama.



Slika 1. Prikaz hemoragijskog i ishemijskog moždanog udara. Preuzeto sa:  
<https://www.alamy.com/hemorrhagic-vs-ischemic-stroke-image7710779.html>

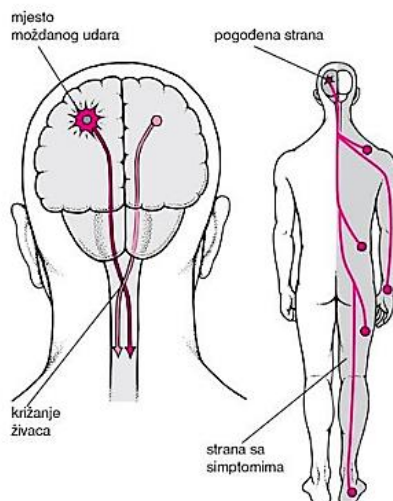
### 2.3. Klinička slika

Simptomi moždanog udara pojavljuju se iznenada i manifestiraju znakove i simptome jedinstvene za zahvaćeno područje arterijskog sustava mozga. Presudno je prepoznati ove iznenadne simptome jer se oštećenje mozga može dogoditi unutar nekoliko minuta nakon njihove pojave. Pravovremeno prepoznavanje simptoma te brza reakcija mogu ograničiti nastanak oštećenja, minimalizirati moguće posljedice te značajno utjecati u uspjehu oporavka (Šafranić i Ožegović, 2019).

Prema Barišiću (2021), Vidoviću (2017) te Šafraniću i Ožegoviću (2019), simptomi moždanog udara mogu uključivati iznenadnu obamrlost ili slabost udova ili lica, poteškoće u hodu, gubitak koordinacije i balansa, poremećaje vida kao što je gubitak vida na jedno ili oba oka, poremećaji govora kao što su poteškoće u govoru ili razumijevanju, promjene u ponašanju i osobnosti popraćene demencijom i depresijom, iznenadna i jaka glavobolja praćena mučninom i povraćanjem.

Neposredno nakon moždanog udara, zahvaćeni dio mozga gubi funkcionalnost u dijelovima tijela koje kontrolira. To rezultira najvećim mogućim stupnjem deficita. Ljudski mozak podijeljen je na desnu i lijevu hemisferu, kao i na nekoliko režnjeva. Živci u mozgu se križaju na način da prelaze s jedne strane tijela na drugu; tako su simptomi moždanog udara u jednoj hemisferi izraženi na suprotnoj strani tijela. Ukoliko se moždani udar dogodi u desnoj

hemisferi mozga, simptomi će biti izraženi na lijevoj strani tijela, i obrnuto (Šafranić i Ožegović, 2019).



Slika 2. Povezanost mjesta moždanog udara i mjesta na tijelu s funkcionalnim oštećenjem.

Preuzeto sa: <http://www.msd-prirucnici.placebo.hr/msd-za-pacijente/bolesti-mozga-i-zivcanogsustava/mozdani-udar-i-srodni-poremecaji/mozdani-udar>

## 2.4. Posljedice moždanog udara

Moždani udar oštećuje mozak te može ostaviti velike posljedice na čovjekov organizam, a one ovise o lokalizaciji te o količini tkiva koje je oštećeno. Svaki moždani udar drugačije utječe na čovjeka, od kojeg se neke osobe brže oporavljaju, dok kod ostalih oporavak traje duži period.

Osim što uzrokuje iznenadna oštećenja mozga i nagli ispad moždanih funkcija, većina moždanih udara za posljedicu ima hemiplegiju, odnosno potpunu oduzetost funkcije jedne strane tijela, ili hemiparezu, odnosno djelomičnu oduzetost funkcije što ne utječe samo na ekstremitete, već na cijeli organizam u smislu nemogućnosti kvalitetnog kretanja, održanja balansa, koordinacije tijela i vlastite percepcije u odnosu prema okolini. Osim toga, moždani udar na organizam ostavlja veliki spektar drugih posljedica u koje spadaju:

- oštećenje živčano-mišićnog sustava
- poremećaj koordinacije, držanja i ravnoteže
- poremećaj osjeta

- poremećaj govora i komunikacije
- apraksija<sup>2</sup>
- spastičnost
- disfagija
- neglekt sindrom (sindrom jednostranog zanemarivanja).

Oljača i suradnici (2016) neglekt sindrom objašnjavaju kao neprimjećivanje i nereagiranje na podražaje koji se nalaze na zahvaćenoj strani tijela (suprotnoj strani od oštećene hemisfere mozga). Navode kako pacijenti s neglekt sindromom obično imaju poteškoće s održavanjem osobne higijene, često ne uspijevaju brijati i češljati lijevu stranu. Također imaju problema s opažanjem hrane na lijevoj strani tanjura i teško se snalaze u prostornoj orijentaciji zbog čega su skloni padovima te se prilikom kretanja sudaraju sa zidovima ili vratima.

## 2.5. Liječenje i prevencija moždanog udara

Barišić (2021) definira moždani udar kao hitno i ozbiljno stanje koje zahtjeva neposrednu medicinsku pozornost i liječenje, sukladno vrsti moždanog udara, u specijaliziranim jedinicama za liječenje moždanog udara. Liječenje je idealno započeti što prije kako bi se smanjila, odnosno brzim djelovanjem spriječila daljnja oštećenja jer, kako navode Šafranić i Ožegović (2019), najveća oštećenja nastaju u prvih nekoliko sati od pojave simptoma.

Brinar i sur. (2019) faze liječenja bolesnika s moždanim udarom dijeli u četiri kategorije: primarna prevencija, akutno liječenje, sekundarna prevencija i rehabilitacija.

Liječenje započinje neposredno nakon postavljene dijagnoze, a prvi korak u liječenju je stabiliziranje stanja pacijenta koja se postiže tako što je pacijentu potrebno osigurati normalnu respiratornu funkciju, odnosno prohodnost dišnih puteva i disanje te održati normalni udarni volumen srca, srčani ritam i tlak. Liječenje moždanog udara u akutnoj fazi trebalo bi se izvršiti unutar 6 sati od nastanka, kako bi se smanjila neurološka oštećenja. Danas su dostupne različite terapije za liječenje moždanog udara. Kod ishemijskog moždanog udara primjenjuje se trombolička terapija (intravenska i intraarterijska), odnosno primjena lijekova koji razgrađuju ugrušak koji je začepio krvnu žilu. Na taj način se ponovno uspostavlja krvotok i sprječava odumiranje živčanih stanica. Mora se provesti unutar 3 do 4,5 sata od pojave

---

<sup>2</sup> Poteškoće u izvođenju uvježbanih pokreta koje nisu uzrokovane motoričkom slabošću, gubitkom osjeta, poremećajem koordinacije ili pogrešnim tumačenjem naredbe (Brinar, 2019).

simptoma. Isto tako, dostupna je mehanička trombektomija koja omogućava mehaničko vađenje ugruška iz zatvorene krvne žile, a treba se provesti unutar 6 sati od nastanka simptoma. Ako je riječ o hemoragijskom moždanom udaru, potrebno je čim prije suzbiti krvarenje u mozgu ili oko njega da bi se reducirao pritisak na okolno zdravo tkivo mozga te tako smanjio rizik od oštećenja. U tom slučaju se pretežno koriste lijekovi ili se krvarenje zaustavlja i eliminira operativno (Barišić, 2021, Brinar i sur., 2019).

Kako bismo prevenirali nastanak moždanog udara, ključna je pravovremena promjena načina života i navika koje spadaju u rizične faktore za nastanak moždanog udara. Prema tome, potrebno je poduzeti mjere te minimalizirati vjerojatnost nastanka moždanog udara, no uvijek treba biti svjestan postojanja rizika.

Primarna prevencija usmjerena je na provođenje i realiziranje mjera za sprječavanje nastanka moždanog udara, odnosno na otklanjanje čimbenika rizika te na promjenu načina svakodnevnog života tako što promovira zdrav način življenja. Sekundarna prevencija se odnosi na osobe koje su preboljele moždani udar, a obuhvaća medikamentoznu terapiju i rehabilitaciju te korisne savjete o promjeni načina života (Barišić, 2021 i Brinar i sur., 2019).

Barišić (2021), Brinar i sur. (2019) i Vidović (2017) navode neke od mogućih mjera prevencije koje svaki pojedinac može poduzeti, a to su regulacija tjelesne težine, redovito mjerenje i kontrola krvnog tlaka, glukoze u krvi i kolesterola, prestanak pušenja te izbjegavanje konzumacije alkohola, energetskih i kofeinskih napitaka, uvođenje tjelesnih aktivnosti u svakodnevne životne aktivnosti, prilagodba prehrambenih navika, minimalno korištenje mobilnih uređaja i računala zbog količine izlaganja elektromagnetskom zračenju te redukcija dugotrajnog izlaganja zonama suviše zagađenog zraka koje negativno utječe na kardiovaskularni sustav.

### **2.5.1. FAST test**

Moždani udar može se pojaviti kod svake osobe te u bilo kojoj dobi, a kako bismo bili sigurni da se radi o njemu, važno je znati prepoznati uobičajene znakove moždanog udara na sebi ili nekom drugom. Stoga je u svijetu razvijen protokol za prepoznavanje simptoma moždanog udara, poznat pod nazivom FAST test. Značenje naziva FAST te kako se test provodi, Šafranić i Ožegović (2019) objašnjavaju na sljedeći način:

- F (Face): Može li se osoba nasmiješiti? Je li lice iskrivljeno s jedne strane?
- A (Arms): Može li osoba podići obje ruke i držati ih u tom položaju? Zaostaje li jedna ruka prilikom podizanja?
- S (Speech): Može li osoba jasno govoriti i razumjeti ono što kažete? Je li govor nerazumljiv?
- T (Time): Ako je vidljiv bilo koji od ova tri znaka, potrebno je kontaktirati hitnu službu. Bilježenje vremena kada se prvi put pojavio simptom ključno je za daljnje medicinske postupke. Ove informacije mogu odrediti koji će se sljedeći koraci poduzeti.

### 3. NEUROREHABILITACIJA

Neurorehabilitacija je dio rehabilitacije usmjeren oporavku i osposobljavanju osoba nakon neuroloških oštećenja ili oboljenja. Jedna od glavnih posebnosti neurorehabilitacije je njezina opsežnost i sadržaj u čijem procesu sudjeluje tim različitih medicinskih stručnjaka čije je djelovanje prilagođeno ovisno o razini oštećenja. Glavna zadaća neurorehabilitacije kod osoba nakon moždanog udara je povratak vremenom izgubljenih funkcija što se ne ogleda samo u medicinskom pristupu rehabilitaciji, već i psihosocijalnom i radnom pristupu. Medicinski pristup sastoji se od terapije motoričkih, senzornih i kognitivnih oštećenja kao posljedica nakon moždanog udara. Psihosocijalnim pristupom se pokušava pacijenta uspješno reintegrirati u obitelj i društvo, a radni pristup ovisi o stupnju onesposobljenosti te pomaže osobama s invaliditetom da nastave biti korisni članovi zajednice kroz programe prekvalifikacije ili radne rehabilitacije (Bakran i sur., 2012., Oljača i sur., 2016).

Proces neurorehabilitacije započinje čim se postigne stabilno stanje pacijenta, jer se najbolji rezultati neurološkog oporavka postižu u prva 3 mjeseca. Procjenjuje se da je najveći mogući oporavak moguć u prva 4 do 6 tjedana nakon nastanka moždanog udara. Nakon moždanog udara, Vázquez-Guimaraens, Caamaño-Ponte, Seoane-Pillado i Cudeiro (2021), navode da su trajanje i intenzitet terapije te vrijeme početka rehabilitacijskog procesa značajni u određivanju uspjeha funkcionalnog oporavka pacijenta nakon moždanog udara. Proces neurorehabilitacije je često dugotrajniji od ostalih vrsta rehabilitacije te se obično proteže na doživotno potrebnu intervenciju (Barišić, 2021, Oljača i sur., 2016).

Iako velik broj pacijenata ima istu dijagnozu, ne znači da imaju istu razinu oštećenja, kao ni trajanje oporavka. Upravo zbog toga se ciljevi neurorehabilitacije postavljaju individualno, u suradnji s pacijentom (Barišić, 2021). Da bi ishodi liječenja bili što uspješniji, bitno je svakodnevno motivirati pacijenta i pružati mu podršku, pa tako i njegovoj obitelji. Sam pacijent i njegova obitelj mogu biti nedovoljno pripremljeni na novonastale životne uvjete i pacijentove potrebe. Stoga je važno postaviti realne ciljeve za pacijenta i njegovu obitelj koji će olakšati proces prilagodbe i put do oporavka (Oljača i sur., 2016)

Rehabilitacijski tim čini skupina zdravstvenih stručnjaka koje povezuje zajednički cilj, a to je maksimalno unaprijediti funkcionalni status pacijenta. Rehabilitacijski tim čine članovi različitih struka te svaki od njih pomažu uspješnosti oporavka pacijenta u okviru svoje struke. Najvažniji član rehabilitacijskog tima je sam pacijent, a prate ga fizijatar, fizioterapeut, radni terapeut, medicinska sestra, psiholog i logoped.

### 3.1. Neuroplastičnost mozga

Neuroplastičnost mozga definira se kao sposobnost mozga da se, kao odgovor na oštećenje, kontinuirano modificira i reorganizira, s ciljem adaptacije na novonastale situacije i uvjete. U tom procesu mozak kompenzira izgubljenu funkciju stvaranjem novih živčanih stanica i uspostavljanjem novih veza između postojećih. Na taj način okolne živčane stanice preuzimaju funkcije oštećenih živčanih stanica, omogućujući povratak vremenom izgubljenih sposobnosti te kvalitetnijeg oporavka pacijenta. Vježbamo li učestalo jednu aktivnost (slijed pokreta ili matematički problem) formiraju se neuronski krugovi, čime dolazi do bolje sposobnosti vršenja izvježbanog zadatka, no uz manji utrošak energije. Jednom kada prestanemo prakticirati određenu aktivnost, mozak preusmjerava neuronske krugove prema poznatom principu „iskoristi“ ili „ostavi“. Neuroplastičnost karakteriziraju različite pojave, uključujući stvaranje navika, toleranciju na lijekove, osjetljivost na određeni položaj, ali i oporavak nakon oštećenja mozga (Demarin, Morović, Bene, 2014, Poljaković, 2019).

Neuroplastičnost predstavlja osnovu na kojoj se bazira suvremena rehabilitacija nakon lezije mozga. U tom procesu ključnu ulogu ima pravovremena i intenzivna neurorehabilitacija, stimulirajući reorganizaciju živčanog sustava kako bi omogućila pacijentu očuvanje ili maksimalan povratak izgubljenih funkcija neophodnih za samostalan život. Koncepti suvremene neurorehabilitacije utemeljeni su na vjerovanjima da u mozgu ne postoje čvrste veze, da se moždane stanice i njihove veze mijenjaju kroz cijeli život, da ne postoji dobna granica za promjenu funkcije i organizacije mozga te da su novi, ciljani, intenzivni, zahtjevni i izazovni zadaci najbolji način za stimuliranje mozga (Oljača i sur., 2016).

Stvaranje novih živčanih stanica cjeloživotni je proces, iako mnoge od njih odumru. Ostatak živčanih stanica sjedinjuje se s okolnim tkivom te one postaju djelatne (Barišić, 2021). Gajović (2012) navodi kako se u počecima smatralo da je neuroplastičnost mozga najizraženija tijekom ranog djetinjstva, no novija istraživanja pokazuju suprotno te dokazuju da je neuroplastičnost izražena i u odraslog čovjeka. Neuroplastičnost funkcionira na principu da se najprije zapazi koji je neuronski put pogođen i oštećen, izbjegava taj te traži alternativni put uz pomoć rehabilitacije pokreta i obrade neuronskih signala. Rehabilitacija pokreta osnovana je učenju kompleksnih pokreta. Mozak najprije raspoznaje motoričke pokrete, rastavi ih na određen broj jednostavnih te procesira u specifični oblik koji pamti (Demarin i sur., 2014).

Neuroplastičnost je usko povezana s tjelesnom aktivnošću te postoje dokazi da tjelesna aktivnost pozitivno utječe na neuroplastičnost. Osim što tjelesna aktivnost smanjuje stres,



poboljšava kognitivne sposobnosti te smanjuje razvoj psihičkih oboljenja, ona potiče neuroplastičnost. Današnja istraživanja dokazuju da je jedan od faktora rasta, moždani neurotrofni faktor (engl. Brain derived neurotrophic factor - BDNF), važan pri stimuliranju neuroplastičnosti mozga, te je pod utjecajem tjelesne aktivnosti. U fiziološkim uvjetima uključen je u rast, diferencijaciju i preživljavanje živčanih stanica. Povišenje koncentracije moždanog neurotrofnog faktora pod utjecajem tjelesne aktivnosti potiče neurogenezu i sinaptogenezu te sprječava gubitak moždanih stanica (Poljaković, 2019).

### **3.2. Robotika u neurorehabilitaciji**

Neurorehabilitacija kao najkompleksniji i najteži dio rehabilitacije dinamički se mijenja i sve je više rasprostranjena. U neurorehabilitaciji osoba nakon preboljelog moždanog udara razvijaju se mnogi moderni pristupi, a jedan relativno nov pristup je rehabilitacija pomoću robotskih uređaja. Područje robotike u rehabilitaciji ima relativno dugačku povijest, a započelo je krajem 1989. godine s razvojem robota dizajniranog za rehabilitaciju ramena i lakta. Iako sporo u početku, područje robotike se brzo razvilo od sredine 1990-ih, te je posljednjih desetljeća zabilježen veliki napredak u neurorehabilitaciji uz pomoć robota (Kwakkel, Kollen, i Krebs, 2008).

Neurorehabilitacija robotikom relativno je nova metoda liječenja i rehabilitacije pacijenata s neurološkim oštećenjima koji omogućava učinkovit, brz i motivirajuć oporavak pacijentima, koji zbog različitih nesreća ili neuroloških bolesti imaju oslabljene ili potpuno onemogućene donje i gornje ekstremitete tijela. Također, neurorehabilitacija uz pomoć robotike ima ključnu ulogu u oporavku pacijenta jer, potičući reorganizaciju živčanog sustava, omogućuje maksimalan povratak funkcionalnosti tijela. Kombinacijom vježbi visokog intenziteta i velikim brojem ponavljanja koju omogućuje neurorehabilitacija robotikom, pacijent postiže impresivne rezultate u poboljšanju cjelokupnog zdravstvenog stanja, jer takav način treninga potiče moždane aktivnosti, odnosno vježba mozak.

### **3.3. Prednosti robota u rehabilitaciji**

Wilson i Raghavan (2018) navode kako postoje nekoliko razloga integracije robota u rehabilitaciju nakon moždanog udara. Rehabilitacijski roboti osmišljeni su da služe kao dopuna i kao ušteda rada terapeuta te samim time omogućuju veće količine rehabilitacijskih terapija bez potrebe za dodatnim osobljem. U načelu, vježbanje uz pomoć robota može

zamijeniti dio vježbe koji se pruža pod izravnim vodstvom terapeuta. Također, rehabilitacija pomoću robotike, kao suvremen pristup u rehabilitaciji, pruža terapiju koja je učinkovitija od same konvencionalne terapije u unapređenju motoričkog oporavka.

Kako novi robotski uređaji postaju sve sofisticiraniji te je bolje razjašnjeno optimalno vrijeme, trajanje i doziranje terapija nakon moždanog udara, pomoću robotike mogu se postići puno bolji rezultati. Prednost robota je što se uz njih terapije provode na više dosljedan način, s preciznijom kontrolom nad parametrima vježbi, uključujući obrazac kretanja, broj ponavljanja i silama kojima robot djeluje na pacijenta.

Još jedna potencijalna, ali još nerealizirana korist od uključivanje robotske terapije u rehabilitaciju nakon moždanog udara bila bi ušteda troškova. Znatne uštede troškova mogu se ostvariti uz pomoć jednog nadzornog terapeuta koji prati više pacijenata pomoću robotski potpomognute terapije. Kada bismo se osvrnuli na ekonomiku kućnog robota i terapije od kuće, ona ostaje zahtjevna zbog skupe prirode ovih uređaja. Potrebna su velika klinička istraživanja pokazujući jasnu korist terapije uz pomoć robota naspram konvencionalne terapije kako bi osiguravajuće tvrtke smanjile, odnosno nadoknadile troškove kućnih robota.

## **4. ELEKTROMEHANIČKI ROBOTI U REHABILITACIJI HODA**

### **4.1. Definicija robota**

Wilson, Raghavan (2018) i Schnurrer-Luke-Vrbanić (2016) rehabilitacijske robote definiraju kao programirane, multifunkcionalne, manipulacijske elektromehaničke uređaje koji su dizajnirani za prijenos vanjske sile na pacijentove ekstremitete tijekom izvođenja raznovrsnih zadataka (poput hodanja). Schnurrer-Luke-Vrbanić (2016) smatra da su roboti napravili veliku prekretnicu u rehabilitacijskoj medicini tako što predstavljaju tehnologiju koja pomaže, pospješuje i kvantificira oporavak, te poboljšava kvalitetu života pacijenata te im pomažu da postanu što samostalniji.

Terapijski roboti posebno su dizajnirani da pružaju podršku neurološkim pacijentima prilikom izvođenja vježbi u sklopu rehabilitacije. Postojeći robotski uređaji koji se primjenjuju u rehabilitaciji uvelike se razlikuju jedni od drugih, no jedno im je zajedničko. Svi sadrže senzore različitih vrsta, uključujući senzore kretanja, pa su stoga i terapijske i mjerne funkcije integrirane u isti uređaj. Kao uređaji koji se primjenjuju u rehabilitaciji, roboti se mogu programirati da provode niz raznih, reproduktivnih, ponavljajućih vježbi. Kao uređaji s mogućnošću mjerenja, sposobni su identificirati i kvantificirati mnoge aspekte kretanja i fizičke interakcije s pacijentom (Wilson i Raghavan, 2018).

### **4.2. Trening hoda uz pomoć robota**

Hod je osnovna i automatska aktivnost te izraz psihofizičkih značajki svakog pojedinca. Funkcija hoda vrlo je složena, a njezin razvoj počinje u ranom djetinjstvu kada se postepeno iz dana u dan vidi napredak u motoričkom razvoju i stabilnosti, što je preduvjet za razvoj hoda. U normalan i pravilan hod u kojem sudjeluju pokreti cijeloga tijela, neophodna je usklađenost mišića kuka, zdjelice, kralješnice, trupa i donjih ekstremiteta. Poremećaj, bol ili neka vrsta oštećenja, u ovom slučaju moždani udar, u bilo kojem dijelu tijela može se odraziti na funkciju hoda.

Velik broj osoba koje su preživjele moždani udar za posljedicu ima neku vrstu oštećenja, a najčešći problemi s kojima se susreću su upravo hod i balans. Stoga je glavni cilj u rehabilitaciji maksimalan povratak tih funkcija te povratak aktivnostima svakodnevnog života. S razvitkom suvremene tehnologije i primjene robotike koja je pronašla svoje mjesto u

rehabilitaciji kod osoba nakon moždanog udara, oporavak pacijenata i povratak funkcije hoda i balansa puno je lakši i brži (Erjavec i sur., 2019).

Tijekom treninga hoda uz pomoć robota, pacijentima se pomaže s djelomičnom potporom tjelesne težine, dok robotski uređaj pruža fizičko vođenje kako bi se noge pacijenata pomaknule u normalan obrazac pokreta. Najveća prednost treninga hoda uz pomoć robota je mogućnost povećanja intenziteta treninga (trajanja i broja ponavljanja) u sigurnom okruženju. Jedan terapeut može biti u mogućnosti nadzirati dva ili više pacijenata odjednom, što rezultira značajnim smanjenjem troškova osoblja. Robotski potpomognuti trening hoda može uključivati i druge tehnologije kao što je virtualna stvarnost kako bi se povećao pacijentov angažman i motivacija za sudjelovanje programu rehabilitacije (Colombo i Sanguineti, 2018).

Svrha treninga hoda uz pomoć robotskih uređaja jest stimuliranje neuroplastičnosti s ciljem podizanja razine motoričke funkcije hoda bolesnika. Vježbe visokog intenziteta i velikog broja ponavljanja te vježbe sa zadatkom mogu postići drastične rezultate u poboljšanju neuroplastičnosti. Vježbe hoda moraju biti prilagođene sposobnostima i mogućnostima te razini onesposobljenosti pacijenta, a istovremeno ga se mora motivirati i ohrabrivati da aktivno sudjeluje na putu do oporavka (Đurđević, 2016).

### **4.3. Podjela robota**

Postoji velik broj elektromehaničkih robotskih uređaja koji se primjenjuju u rehabilitaciji hoda kod osoba nakon moždanog udara, različitih dizajna i svrhe, a Colombo, Sanguineti (2018), Đurđević (2016) i Schnurrer-Luke-Vrbanić (2016) su ih podijelili u dvije velike skupine: egzoskeletni i end-effector roboti.

#### **4.3.1. Egzoskeletni roboti**

Đurđević (2016) i Erjavec i suradnici (2019) navode kako su egzoskeletni roboti rehabilitacijski uređaji koji svoj učinak ostvaruju tako što su povezani za donji ekstremitet pacijenta, paralelno s ljudskim tijelom te tako pomiču sve zglobove u ekstremitetu. Najčešće su postavljeni iznad pomične trake.

Mehanička struktura egzoskeletnog robota nalikuje anatomiji ljudskih udova, tako da zglobovi robota obično odgovaraju zglobovima čovjeka. Drugim riječima, robotski uređaj je

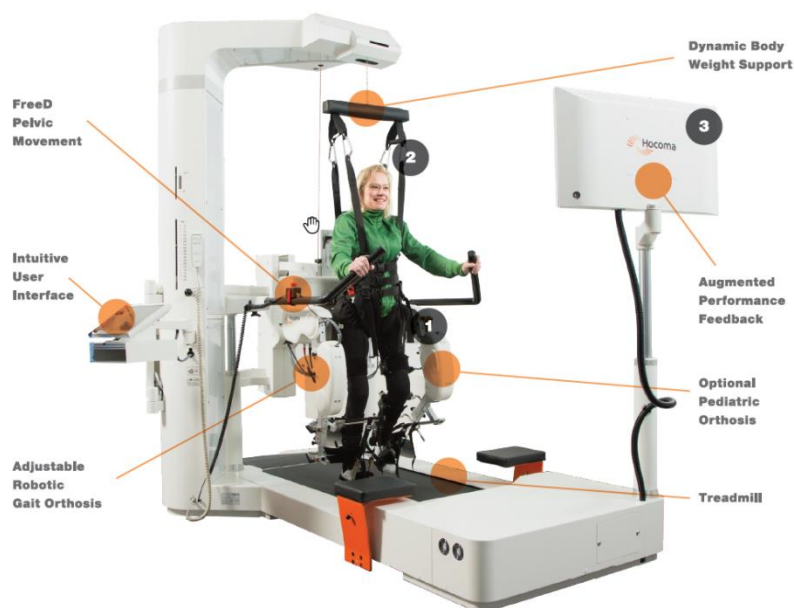
programiran za rad pod pretpostavkom da je savršeno poravnat sa zglobovima pacijenta. Egzoskelet je pričvršćen za pacijentove udove na nekoliko točaka, obično preko manžeta, i vodi ekstremitete forsirajući određene položaje tijela. To čini prilagodbu različitim veličinama tijela izazovnom jer se duljina svakog segmenta robota mora prilagoditi odgovarajućoj duljini udova sudionika, a anatomske osi ljudskog i robotskog zgloba moraju biti dobro usklađene (Colombo i Sanguineti, 2018). U nastavku su opisani neki od najpoznatijih egzoskeletnih robotskih uređaja u rehabilitaciji.

#### **4.3.1.1. Lokomat**

Lokomat je prvi moderni automatizirani robotski uređaj kojeg je dizajnirala Hocoma iz Švicarske za rehabilitaciju donjih ekstremiteta i poboljšanje hoda. Temelji se na tjelesno potpomognutom treningu na pokretnoj traci. Uređaj predstavlja kombinaciju bilateralnih prilagodljivih ortoza sa sustavom za tjelesnu potporu, pokretnom trakom i medijalnim sučeljem, a prilagodljiva je odraslim osobama i djeci starijoj od 5 godina (Colombo i Sanguineti, 2018, Đurđević, 2016).

Robot funkcionira na način da je pacijentova zdjelica fiksirana, dok se pokreti se odvijaju u zglobovima kuka i koljena, usklađeni s pokretnom trakom. Svaka ortoza ima jedan linearni pogon u zglobu kuka i jedan u zglobu koljena za induciranje pokreta fleksije i ekstenzije u sagitalnoj ravnini. Pasivni podizači stopala podržavaju dorzalnu fleksiju gležnja tijekom faze zamaha. Svaka ortoza pričvršćena je na okvir sustava za potporu tjelesne težine koji omogućuje pasivne vertikalne translacije ortoze održavajući orijentaciju segmenta robotske zdjelice konstantnom. Lokomat može pasivno pomicati noge pacijenata pomoću konvencionalne kontrole položaja koja slijedi unaprijed definirane putanje zglobova kuka i koljena (Colombo i Sanguineti, 2018).

Lokomat omogućuje provođenje treninga na zabavan i interaktivan način, motivira i potiče pacijenta da određenu vrstu pokreta napravi više puta što pospješuje njegov oporavak. Terapeuti imaju mogućnost prilagođavanja parametara treninga, kao što su razina potpore tijela i brzina pokretne trake, u skladu s pacijentovim sposobnostima u svakoj fazi njihovog oporavka. Senzori koji se nalaze na mjestima ortoza kukova i koljena omogućuju precizna mjerenja rada koji putem multimedijalnog sučelja omogućuju pacijentu povratne informacije te vjerodostojan uvid u njegov napredak što potiče dodatnu motivaciju kod pacijenta (Đurđević, 2016).



Slika 3. Lokomat, Hocoma CH. Preuzeto sa: <https://www.hocoma.com/solutions/lokomat/>

Schwartz i suradnici su 2009. godine proveli istraživanje s ciljem procjene učinkovitosti korištenja uređaja Lokomata za robotski potpomognut treninga hoda na funkcionalne ishode kod subakutnih pacijenata u procesu rehabilitacije. U istraživanje je bilo uključeno 67 pacijenata koji su bili manje od 3 mjeseca u procesu rehabilitacije. Pacijenti su bili nasumično raspoređeni u dvije grupe koje su kroz 6 tjedana, 5 dana tjedno po 30 minuta odrađivale fizikalnu terapiju. Uz konvencionalnu fizikalnu terapiju, eksperimentalna grupa dobila je dodatnih 20 minuta terapije pomoću Lokomata 3 puta tjedno, dok je kontrolna grupa dobila dodatno isto toliko konvencionalne fizikalne terapije. Na kraju istraživanja, rezultati su pokazali kako eksperimentalna grupa ima veći postotak pacijenata koji su mogli samostalno hodati u odnosu na kontrolnu grupu. Istraživanje je pokazalo da je robotski potpomognut trening pomoću Lokomata u kombinaciji s konvencionalnom fizioterapijom pokazao obećavajuće učinke na funkcionalne i motoričke ishode kod pacijenata nakon subakutnog moždanog udara u usporedbi sa samom konvencionalnom fizioterapijom.

#### 4.3.1.2. ReoAmbulator

ReoAmbulator je rehabilitacijski robot koji se sastoji od dvije ortoze za noge i koristi se zajedno sa sustavom potpore tjelesne težine i trakom za trčanje, pogodan za odrasle i djecu. Svaka ortoza za nogu aktivira se na zglobovima koljena i kuka kako bi se osiguralo vođenje u

sagitalnoj ravnini. Tijekom treninga višestruki senzori kontinuirano prate i prilagođavaju robotsko navođenje i brzinu (do 3,2 km/h) ovisno o specifičnim fizičkim zahtjevima pacijenta. ReoAmbulator omogućuje terapeutima da osmisle personalizirane vježbe za poboljšanje pacijentove ravnoteže, kretanja, koordinacije, izdržljivosti i posture kroz intenzivan, ponavljajući trening normalnih pokreta cijele noge, uključujući zglobove kuka, koljena, gležnja i zdjelicu, kako bi se reproducirao uzajamni, sinkronizirani prirodni obrazac hoda (Colombo i Sanguineti, 2018).

Interaktivni zaslon s više okruženja virtualne stvarnosti ima za cilj povećati angažman pacijenata. Virtualna realnost predstavlja platformu za stvaranje virtualnog svijeta za pacijenta prilikom terapije unutar kojeg pacijent obavlja zadatke koji su u sklopu rehabilitacije (Erjavec i sur, 2019). Pacijent preko zaslona računala ispunjava određene zadatke i vježba kroz igrice u virtualnoj stvarnosti. Neki vjeruju da je moguće transferirati naučene sposobnosti iz igrica virtualne stvarnosti u aktivnosti u stvarnom životu. Međutim, ovu teoriju tek treba dokazati. S druge strane, ovakav način vježbanja, praćenje rezultata i evaluacija napretka povećava motivaciju i osjećaj zadovoljstva pacijenta, te pruža raznolikost i dinamičnost u svakodnevnom ritmu rehabilitacije (Schnurrer-Luke-Vrbanić, 2016).



Slika 4. ReoAmbulator. Preuzeto sa:  
<https://samcon.be/Rehabilitation/Robotics/ReoAmbulator>

Fisher i suradnici su 2011. godine proveli istraživanje kako bi utvrdili izvedivost korištenja ReoAmbulatora u treningu hoda kod pacijenata nakon moždanog udara te usporedili funkcionalne ishode ishoda konvencionalne terapije. U istraživanju je obuhvaćeno 20 pacijenata koji su raspoređeni u eksperimentalnu grupu, koja je primjenjivala robotski asistiran trening hoda, i kontrolnu grupu, čije su se terapije bazirale na konvencionalnim metodama. Prije i na samom kraju istraživanja procijenjena je funkcija hoda testom hodanja od 8 metara, testom hodanja od 3 minute i Tinetti testom kojim se procjenjuje balans. Svi pacijenti uspješno su odradili sveukupno 24 terapije. Rezultati istraživanja pokazuju da su pacijenti poboljšali funkciju hoda nakon robotski asistiranog treninga hoda. Funkcionalni ishodi nisu bili značajno bolji od ekvivalentne doze konvencionalne fizikalne terapije, što govori da robotski asistiran trening hoda i konvencionalna fizikalna terapija, kako se primjenjuju u ovom istraživanju, mogu proizvesti slične kliničke ishode. Jedina razlika je u tome što je program konvencionalne fizikalne terapije zahtijevao znatno više vremena terapeuta nego terapija uz pomoć ReoAmbulatora.

#### **4.3.1.3. C-Mill**

C-Mill je robotski uređaj koji u kombinaciji pokretne trake i sustava za potporu tjelesne težine omogućuje pacijentima izvođenje zadataka putem virtualne stvarnosti i projekcija, koji ih pripremaju za svakodnevna životna okruženja i promjenjive okolnosti, poput hodanja u gužvi ili izbjegavanja prepreka. Za simulaciju svakodnevnih izazova, u C-Mill trening su integrirani vanjski vizualni i akustični znakovi, varijacije u vježbama, lako podešivi parametri, motivirajuće iskustvo virtualne i proširene stvarnosti. Mogućnost podešavanja udaljenosti između znakova, mijenjanja i treniranja uzorka hoda, implicitno učenje, trening visokog intenziteta, specifičnost zadataka i povratne informacije o napretku omogućuju brzo i učinkovito poboljšanje hoda i ravnoteže („Gait and balance“).





Slika 5. C-Mill. Preuzeto sa: <https://www.hocoma.com/solutions/c-mill/>

Heeren i suradnici su 2013. godine proveli istraživanje nad 16 ispitanika u kroničnoj fazi nakon moždanog udara s ciljem evaluacije treninga hoda pomoću C-Mill uređaja. Pacijenti su kroz 6 tjedana odradili 10 terapija, svaku po 60 minuta, koja je uključivala trening prilagodljivosti hoda. Neke od procjena prije i poslije intervencije uključivale su: kliničke procjene ravnoteže i hoda, test hodanja na 10 metara, test „ustani i idi“, Bergovu skalu ravnoteže, procjenu razine tjelesne aktivnosti te stopu uspješnosti točnih prilagodbi koraka prema meti koja se pomiče. Na kraju istraživanja sve kliničke procjene značajno su se poboljšale. Trening prilagodljivosti hoda pomoću C-Mill uređaja u kroničnoj fazi nakon moždanog udara je obećavajuć te je pokazao svoju učinkovitost u rehabilitaciji, a isto tako opravdava buduća istraživanja koja uključuju randomizirano kontrolirano ispitivanje.

#### **4.3.2. End-effector roboti**

Colombo, Sanguineti (2018) i Đurđević (2016) end-effector robote objašnjavaju kao robotske uređaje koji su vezani za krajnji dio ekstremiteta te pomiču, u ovom slučaju, samo stopala. Svoju funkciju obavljaju pomoću dvije robotske ruke na čijim su krajevima dvije ploče na koje se postavljaju pacijentove noge. Te ploče simuliraju normalan hod kroz faze stajanja i zamaha i/ili uspinjanja/spuštanja stepenicama. Robot omogućuje pacijentu djelomičnu ili potpunu podršku u izvođenju kretnje, ovisno o zahtjevima i mogućnostima pacijenta (Krebs, 2013). Postura i pokreti pacijentova trupa su pod utjecajem je orme koja

daje potporu i stabilizira pacijenta tijekom vježbe. Kutovi zglobova koljena i kuka nisu u potpunosti određeni robotom jer pacijent i robot međusobno djeluju samo kroz jednu točku. Kako pacijentova koljena nisu fiksirana, terapeut ima slobodan pristup da samostalno korigira pokrete ako je to potrebno ili predviđeno terapijom. S druge strane, nedostatak je što bi osobe koje pate od ozbiljnih invaliditeta zahtijevale stalnu pomoć barem jednog terapeuta

#### 4.3.2.1. Gait trainer (GT 1)

Gait trainer 1 (GT 1) jedan je od prvih komercijalno dostupnih robotskih uređaja koji je osnovan na principu robotske ruke na čijem kraju ima pokretne ploče na koje se postavljaju noge pacijenta tijekom treninga, dok koljeno i kuk nisu fiksirani. Robot se koristi u kombinaciji sa sustavom za potporu tjelesne težine. Duljina koraka, trajanje hoda te robotska podrška mogu se prilagoditi svakom pacijentu ovisno o njegovim sposobnostima.



Slika 6. Gait trainer (GT 1). Preuzeto sa: <https://www.neurorehabdirectory.com/rehab-products/gait-trainer-gt-i/>

GT 1 kasnije je redizajniran u Haptic Walker na kojemu se pokretne ploče mogu programirati za simulaciju hodanja po različitim površinama, poput hodanja po neravnom terenu, penjanja uz stepenice, pa čak i klizanja. Haptic Walker može izvoditi putanje hodanja u sagitalnoj ravnini s brzinama do 5 km/h. Međutim, zbog njegovog velikog i glomaznog mehaničkog dizajna teško ga je postaviti u kliničku postavu.



Slika 7. Haptic Walker. Preuzeto sa: [https://www.researchgate.net/figure/HapticWalker-with-SCI-patient-and-physiotherapist-Photograph-of-the-robotic-walking\\_fig3\\_6514377](https://www.researchgate.net/figure/HapticWalker-with-SCI-patient-and-physiotherapist-Photograph-of-the-robotic-walking_fig3_6514377)

#### **4.3.2.2. PerPedes**

PerPedes predstavlja najmoderniji robotski uređaj u rehabilitaciji hoda. Pacijentu omogućuje imitaciju prirodnog hoda tako što izvodi plantarnu fleksiju stopala tijekom podizanja noge i početni kontakt petom. Osim toga, pomoću ugrađenog mehanizma za podupiranje prirodnog ritma hoda, omogućuje rotaciju kuka i trupa, te raznovrsne mogućnosti podešavanja, intuitivno djelovanje i visoki subjektivni osjećaj sigurnosti („Gait rehabilitation system Perpedes“).



Slika 8. PerPedes. Preuzeto sa: <https://www.medicalexpo.com/prod/schepp-medtech/product-117953-788400.html>

PerPedes predstavlja jedini robotski uređaj u rehabilitaciji hoda kojim se može postići reprodukcija plantarne fleksije i početni kontakt petom kako bi se repliciralo prirodno kretanje. Osim što omogućuje adaptaciju duljine koraka i razmaka između stopala, omogućuje postizanje normalnog ciklusa hoda, koji se sastoji od faze oslonca (60% ciklusa hoda) i faze njihanja (40% ciklusa hoda), pri normalnoj brzini hoda („Perpedes – Rehabilitacija nogu i hoda“).

Jedini ovakav uređaj u središnjoj i jugoistočnoj Europi možemo pronaći u Specijalnoj bolnici Arithera u Zagrebu.

#### **4.3.3. Roboti za nadzemni trening hoda**

Egzoskeletni i end-effector roboti zahtijevaju specificiranje željenih obrazaca hoda. Međutim, nema dokaza da bi se trebali provoditi normalni obrasci hoda kako bi se maksimalno stimulirala plastičnost mozga. Zapravo, neka su istraživanja sugerirala da bi pacijenti trebali odabrati funkcionalnije vježbe treninga hoda, kao što je slobodno hodanje po tlu i vježbe ravnoteže. Tako postoje robotski uređaji koji pacijentima daju mogućnosti

izvođenja funkcionalnijih zadataka uz sustav tjelesne potpore, pružajući istovremeno sigurno okruženje koje ih štiti od spoticanja ili pada (Colombo i Sanguineti, 2018).

#### 4.3.3.1. Andago

Andago je robotski uređaj koji predstavlja kombinaciju samostalnog hoda uz sustav potpore tjelesne težine i pokretljivosti, čime omogućuje pacijentima intenzivan trening funkcionalnih zadataka mobilnosti i ravnoteže širokog raspona (npr. pokretanje, okretanje, zaustavljanje, izbjegavanje prepreka). Također, osigurava stabilnost nogu, kvalitetu držanja te oslobađa pacijente straha od samostalnog hoda te ih na taj način priprema za zadatke i aktivnosti u svakodnevnom životu („Gait and Balance“).

Prilikom treninga, pacijent nosi pojas koji je povezan s okvirom uređaja koji nosi njegovu tjelesnu težinu. Robotski okvir ima kotače s električnim pogonom i kotače za kretanje unaprijed, unazad te okretanje prema namjerama pacijenta. Uređaj osjeti pokrete trupa pacijenta preko senzora koji se nalaze u nosačima i automatski prati kretanje pacijenta. Terapeuti mogu koristiti različite načine i parametre obuke kako bi pružili terapiju prilagođenu potrebama svakog pacijenta. Terapeuti imaju mogućnost korištenja različitih pomagala koji odgovaraju unutarnoj širini uređaja, kao što su stepenice, rampe i daske za ravnotežu. Terapeuti mogu preuzeti upravljanje Andagom u bilo kojem trenutku, kako bi podržali inicijaciju hoda ili usmjerili pacijenta u određenom smjeru (Colombo i Sanguineti, 2018).



Slika 9. Andago. Preuzeto sa: <https://www.hocoma.com/solutions/andago/>

U uspravnom položaju i bez pomoći obje ruke, pacijenti je sposoban hodati uz maksimalnu ekstenziju i ravnotežu kukova, jer kroz dinamičku potporu tjelesne težine pacijenta, Andago omogućuje pravilnu bočnu izmjenu težine kao ključne komponente hodanja te tako pomaže pacijentu hodati na što prirodniji i stabilniji način (Colombo i Sanguineti, 2018).

Fabara i suradnici su 2016. godine proveli istraživanje nad 20 ispitanika s poteškoćama u hodu, u svrhu procjene upotrebljivosti i učinkovitosti Andago uređaja za rehabilitaciju hoda odraslih pacijenata nakon moždanog udara. Ispitivači su kod svakog pacijenta procijenili hod, ravnotežu i funkcionalnost praćenu treningom hoda uz pomoć Andago uređaja koji je trajao do 45 minuta. Parametri koji su se ocjenjivali prije i na samom kraju istraživanja su brzina hoda, trajanje treninga, sigurnost i upotrebljivost samog uređaja. Percipirane poteškoće pri hoda smanjene su pri korištenju Andago uređaja te su pacijenti izjavili da se osjećaju sigurnije tijekom hodanja s Andagom nego sa svojim pomagalom za hoda. Rezultati istraživanja pokazali su učinkovitost Andago uređaja te pokazali kako je on udoban i jednostavan za korištenje, te daje osjećaj slobode i sigurnosti pacijentu tijekom hodanja. Sigurno pruža pomoć pri hodu pacijentima s visokim rizikom od pada.

## **5. PRIMJENA ROBOTIKE U HRVATSKOJ**

Primjena robotike u neurorehabilitaciji hoda kod osoba nakon preboljelog moždanog udara relativno je nov pristup liječenju te kao takav nije priznat u svim ustanovama za rehabilitaciju u Europi i ostatku svijeta. Robotski uređaji predstavljaju novu vrstu tehnologije u rehabilitaciji koja nije financijski prihvatljiva za svakoga, od visoke cijene samog uređaja do godišnjih naknada za održavanje, osiguranja i osoblja potrebnog za rad s uređajem. Drugi razlog tomu je nedovoljan broj kvalitetnih istraživanja koja dokazuju jasne prednosti primjene robotskih uređaja u svakodnevnom radu (Đurđević, 2016). Bez obzira na to, područje robotike u neurorehabilitaciji dobilo je svoje mjesto u Republici Hrvatskoj, a jedan od vodećih rehabilitacijskih centara u kojima se primjenjuje je Poliklinika Glavić.

### **5.1. Poliklinika Glavić**

Osim što joj je u opsegu rada neurologija i fizikalna medicina, Poliklinika Glavić prvi je i vodeći je centar za neurorehabilitacije pomoću robota u Hrvatskoj i Jugoistočnoj Europi. Poliklinika Glavić raspolaže širokim spektrom tehnološki najnaprednijih elektromehaničkih robota za neurorehabilitaciju gornjih i donjih ekstremiteta, kod odraslih i djece.

Danas Poliklinika Glavić djeluje na dvije lokacije, u Zagrebu i Dubrovniku. Svoj veliki uzlet Poliklinika je doživjela 2015. godine kada je pod vodstvom neurologa dr. Josipa Glavića uvela nov način liječenja na najnaprednijim moćnim robotima današnjice, po čemu je postala prepoznatljiva u Hrvatskoj i regiji. Svoj daljnji razvoj neurorehabilitacije robotikom prošla je kupnjom Armea, robotskog uređaja za rehabilitaciju gornjih ekstremiteta, potom i najpoznatijeg robota i „krune“ neurorehabilitacije, Lokomata, a kasnije još velik broj robotskih uređaja.

Kao što bi to i trebalo biti, Poliklinika Glavić na prvo mjesto postavlja pacijenta te ona praćenjem najnovijih medicinskih trendova liječenja nastoji svakom pacijentu pružiti vrhunsku uslugu s ciljem obnavljanja i održanja zdravlja, od prvog kontakta, do konzultacija te samog pregleda i konačnog oporavka.

Poliklinika je pokazala svoje humanitarno djelovanje tako što je omogućila da na obje lokacije, u Zagrebu i Dubrovniku, u svakom trenutku barem dvoje pacijenata prima uslugu

rehabilitacije u esplatnom programu. Na taj način omogućuje dostupnost ovakvog suvremenog načina neurorehabilitacije pacijentima koji si nisu u mogućnosti to priuštiti.

U cijeli ambijent Poliklinike Glavić osmišljen je i uveden koncept pod nazivom „Art & Medicine“. Kombinacijom odabrane glazbe i umjetnosti, odabran od strane akademske slikarice Dubravke Lošić, stvoren je ambijent koji pomaže u liječenju, motiviranju i podizanju duha pacijenata, a vrijeme koje klijenti i zaposlenici provedu u Poliklinici čini ugodnijim („Art&Medicine“).



## 6. ZAKLJUČAK

Sve veći broj pacijenata s moždanim udarom zahtijeva da se više ljudi podvrgne rehabilitacijskim programima. Nakon preboljelog moždanog udara, velik broj pacijenata za posljedicu ima poteškoće u hodu i ravnoteži, stoga je pravovremena neurorehabilitacija ključna u oporavku pacijenta i njegove ponovne integracije u aktivnosti svakodnevnog života. Razvojem tehnologije, robotika se u relativno kratko vrijeme pokazala učinkovitom te je tako pronašla svoje mjesto u rehabilitaciji. U kombinaciji s konvencionalnim tehnikama fizikalne terapije, rehabilitacija uz pomoć robotskih uređaja može rezultirati značajno boljim motoričkim i funkcijskim ishodima nego same konvencionalne metode liječenja. Bolje razumijevanje naprednih tehnologija uključuje prepoznavanje njihovih pozitivnih i negativnih strana. Prednosti koje pruža robotska neurorehabilitacija su veća motiviranost pacijenta, dinamičnost programa, brži oporavak, veća objektivnost, mogućnost modificiranja velikog broja parametara. Osim što primjena elektromehaničkih robota u neurorehabilitaciji ima svoje prednosti, postoje i nedostaci. S obzirom na to je primjena elektromehaničkih robota relativno kratko vrijeme prisutna u rehabilitaciji, mali broj terapeuta je educiran za rad s njima. Nadalje, elektromehanički roboti su skupa tehnologija, stoga neki zdravstveni sustavi nemaju mogućnost uključiti robotske uređaje u rehabilitacijske protokole. Isto tako, teško je usporediti pokrete koje pruža robotski uređaj s pokretima koje pruža fizioterapeut u individualnom vježbanju s pacijentom. Međutim, puno je lakše izvršiti mnogo ponavljanja s robotom nego s fizioterapeutom.

Zaključno, robotski uređaji se moraju promatrati kao koristan alat u rukama fizioterapeuta koji njime može ublažiti sve intenzivne faze rehabilitacije te se tako može usredotočiti na funkcionalnu rehabilitaciju tijekom individualnog treninga, a opet ima mogućnost nadzora više pacijenata odjednom. Ovim pristupom unapređuje se stručnost i vrijeme fizioterapeuta, uz istovremeno povećavanje učinkovitosti rehabilitacijskog programa. Iako postoje alati za procjenu terapije pomoću robotskih uređaja, još uvijek nema definitivnog dokaza o njezinoj učinkovitosti u odnosu na konvencionalne terapije. U buduća istraživanja trebalo bi uključiti veći broj ispitanika, kao i parametre kinematičke procjene jer oni mogu na objektivan način prikazati rezultate rehabilitacijskog liječenja i dokazati učinkovitost terapije pomoću robotskih uređaja. Manjak broja ispitanika za istraživanje robotike na utjecaj hoda te nedostatak parametara kinematičke procjene nedovoljni su za konačni zaključak koji može govoriti poboljšavaju li suvremene tehnologije učinkovitost fizikalne terapije ili ne.

## 7. LITERATURA

- Art&Medicine. (n.d.). U Polyclinic Glavic. Dostupno na: <https://www.poliklinika-glavic.hr/art-medicine-projekt>
- Bakran, Ž., Dubroja, I., Habus, S. i Varjačić, M. (2012). Rehabilitacija osoba s moždanim udarom. *Medicina Fluminensis*, 48 (4), 380-394. Preuzeto s: <https://hrcak.srce.hr/95724>
- Barišić, T. (2021). Procjena učinkovitosti robotike u neurorehabilitaciji gornjih ekstremiteta kod pacijenata nakon moždanog udara (diplomski rad). Preuzeto s: <https://zir.nsk.hr/islandora/object/fzsri:1482/datastream/PDF/view>
- Brinar, V. i sur. (2019). *Neurologija za medicinare* (str. 153-183.). Medicinska naklada, Zagreb.
- Colombo, R. i Sanguineti, V. (2018). *Rehabilitation robotics: Technology and application*. Elsevier.
- Demarin, V., Morović, S. i Bene, R. (2014). Neuroplasticity. *Periodicum biologorum*, 116 (2), 209-211. Preuzeto s <https://hrcak.srce.hr/126369>
- Đurđević, N. (2016). Elektromehanički roboti u rehabilitaciji hoda kod bolesnika nakon preboljelog moždanog udara (diplomski rad). Medicinski fakultet, Rijeka.
- Erjavec, L., Delaš, K., Grozdek Čovčić, G., Telebuh, M. (2019). Robotika i neurofizioterapija nakon moždanog udara, 5(2): 237-242.
- Fabara, E., O'Brien, A., Vergara-Diaz, G., Adans-Dester, C., Bonato, P. (2016). Usability of a new over-ground bodyweight support device (Andago® 2.0) for gait training. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 97. Dostupno na: <https://www.archives-pmr.org/action/showPdf?pii=S0003-9993%2816%2930850-4>.
- Fisher, S., Lucas, L., Thrasher, T. A. (2011). Robot-assisted gait training for patients with hemiparesis due to stroke. *Topics in stroke rehabilitation*, 18(3), 269–276. Dostupno na: <https://doi.org/10.1310/tsr1803-269>
- Gait and Balance. (n.d.). U Hocoma. Dostupno na: <https://www.hocoma.com/>
- Gait rehabilitation system Perpedes. (n.d.) U MedicalEXPO. Dostupno na: <https://www.medicalexpo.com/prod/schep-medtech/product-117953-788400.html>

- Gajović, S. (2012). Regeneracija mozga: od neuroznanstvene nade do bioetičkog problema. *Jahr*, 3 (1), 267-277. Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/87553>
- Heblin, E. M. (2018). Čimbenici rizika za nastanak moždanog udara (završni rad). Preuzeto s: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:139:742096>
- Heeren, A., van Ooijen, M., Geurts, A. C., Day, B. L., Janssen, T. W., Beek, P. J., Roerdink, M., & Weerdesteyn, V. (2013). Step by step: a proof of concept study of C-Mill gait adaptability training in the chronic phase after stroke. *Journal of rehabilitation medicine*, 45(7), 616–622. <https://doi.org/10.2340/16501977-1180>
- Krebs, H. I., i Volpe, B. T. (2013). Rehabilitation robotics. *Handbook of clinical neurology*, 110, 283–294. Dostupno na: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52901-5.00023-X>
- Kwakkel, G., Kollen, B. J., & Krebs, H. I. (2008). Effects of robot-assisted therapy on upper limb recovery after stroke: a systematic review. *Neurorehabilitation and neural repair*, 22(2), 111–121. Dostupno na: <https://doi.org/10.1177/1545968307305457>
- Oljača, A., Schnurrer-Luke-Vrbanić, T., Avancini-Dobrović, V. i Kraguljac, D. (2016). Neurorehabilitacija u pacijenata nakon preboljenog moždanog udara. *Medicina Fluminensis*, 52 (2), 165-175. Preuzeto s <https://hrcak.srce.hr/158497>
- Perpedes – Rehabilitacija nogu i hoda. (n.d.). U Specijalna bolnica Arithera. Dostupno na: <https://robotska-neurorehabilitacija.eu/perpedes/>
- Poljaković, Z. (2019). Utjecaj tjelesne aktivnosti na neuroplastičnost mozga i neurorehabilitaciju nakon moždanog udara. *Medicus*, 28 (2 Tjelesna aktivnost), 205-211. Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/227116>
- Schnurrer-Luke-Vrbanić, T. (2016). Robotika u neurorehabilitaciji: jučer, danas, sutra. 28 (1-2): 14-23. Dostupno na: <https://repository.medri.uniri.hr/islandora/object/medri:1165/datastream/FILE0>
- Schwartz, I., Sajin, A., Fisher, I., Neeb, M., Shochina, M., Katz-Leurer, M., & Meiner, Z. (2009). The effectiveness of locomotor therapy using robotic-assisted gait training in subacute stroke patients: a randomized controlled trial. *PM & R : the journal of injury, function, and rehabilitation*, 1(6), 516–523. Dostupno na: <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2009.03.009>
- Šafranić, A. i Ožegović, M. (2019). Sve što trebate znati nakon moždanog udara. Udruga za kvalitetniji život nakon moždanog udara „MOŽDANI VAL”. Zagreb.

- Vázquez-Guimaraens M., Caamaño-Ponte JL, Seoane-Pillado T., Cudeiro J. (2021). Factors Related to Greater Functional Recovery after Suffering a Stroke. *Brain Sci.* 11(6):802.
- Wilson, R. i Raghavan, P. (2018). *Stroke rehabilitation*. Elsevier.
- Vidović, A. (2017). *Rehabilitacija bolesnika nakon moždanog udara (završni rad)*. Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:176:007712>

## 8. PRILOZI

Slika 1. Prikaz hemoragijskog i ishemijskog moždanog udara. Preuzeto sa: <https://www.alamy.com/hemorrhagic-vs-ischemic-stroke-image7710779.html>

Slika 2. Povezanost mjesta moždanog udara i mjesta na tijelu s funkcionalnim oštećenjem. Preuzeto sa: <http://www.msd-prirucnici.placebo.hr/msd-za-pacijente/bolesti-mozga-i-zivcanogsustava/mozdani-udar-i-srodni-poremecaji/mozdani-udar>

Slika 3. Lokomat, Hocoma CH. Preuzeto sa: <https://www.hocoma.com/solutions/lokomat/>

Slika 4. ReoAmbulator. Preuzeto sa: <https://samcon.be/Rehabilitation/Robotics/ReoAmbulator>

Slika 5. C-Mill. Preuzeto sa: <https://www.hocoma.com/solutions/c-mill/>

Slika 6. Gait trainer (GT 1). Preuzeto sa: <https://www.neurorehabdirectory.com/rehab-products/gait-trainer-gt-i/>

Slika 7. Haptic Walker. Preuzeto sa: [https://www.researchgate.net/figure/HapticWalker-with-SCI-patient-and-physiotherapist-Photograph-of-the-robotic-walking\\_fig3\\_6514377](https://www.researchgate.net/figure/HapticWalker-with-SCI-patient-and-physiotherapist-Photograph-of-the-robotic-walking_fig3_6514377)

Slika 8. PerPedes. Preuzeto sa: <https://www.medicalexpo.com/prod/schepp-medtech/product-117953-788400.html>

Slika 9. Andago. Preuzeto sa: <https://www.hocoma.com/solutions/andago/>