

Elektromehanički roboti u rehabilitaciji hoda kod bolesnika nakon preboljelog moždanog udara

Đurđević, Nikola

Master's thesis / Diplomski rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Medicine / Sveučilište u Rijeci, Medicinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:184:439102>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-07**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Medicine - FMRI Repository](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI
MEDICINSKI FAKULTET
INTEGRIRANI PREDDIPLOMSKI I DIPLOMSKI
SVEUČILIŠNI STUDIJ MEDICINE

Nikola Đurđević

ELEKTROMEHANIČKI ROBOTI U REHABILITACIJI HODA KOD BOLESNIKA
NAKON PREBOLJELOG MOŽDANOG UDARA

Diplomski rad

Rijeka, 2016.g.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
MEDICINSKI FAKULTET
INTEGRIRANI PREDDIPLOMSKI I DIPLOMSKI
SVEUČILIŠNI STUDIJ MEDICINE

Nikola Đurđević

ELEKTROMEHANIČKI ROBOTI U REHABILITACIJI HODA KOD BOLESNIKA
NAKON PREBOLJELOG MOŽDANOG UDARA

Diplomski rad

Rijeka, 2016.g.

Mentor rada: Izv. prof. dr. sc. Tea Schnurrer Luke-Vrbanić, dr. med.

Diplomski rad ocjenjen je dana _____ u/na _____

_____, pred povjerenstvom u sastavu:

1. _____

2. _____

3. _____

Rad sadrži 28 stranica, 3 slike, 1 tablicu, 30 literaturnih navoda.

Zahvala

Zahvaljujem se svojoj obitelji na bezuvjetnoj podršci kroz ovih šest godina, bez vas ovo ne bi bilo moguće. Svojim prijateljima i kolegama, koji su mi uljepšali studiranje. Svim profesorima i asistentima, na prenesenom znanju. I na kraju, prof. Tei Schnurrer Luke Vrbanić na pomoći i usmjeravanju u preskakanju ove zadnje prepreke.

Od srca vam hvala.

Tablica sadržaja

1. UVOD.....	1
2. SVRHA RADA	5
3. PREGLED LITERATURE NA ZADANU TEMU	6
3.1. PROCJENA TEŽINE MOŽDANOG UDARA.....	6
3.1.1. Europski upitnik za moždani udar (European stroke scale - ESS).....	7
3.1.2. Fugl-Meyer procjena.....	7
3.1.3. Berg balans skala.....	7
3.2. ELEKTROMEHANIČKI ROBOTI U REHABILITACIJI HODA	8
3.3. EGZOSKELETNI ROBOTSKE UREĐAJI	10
3.3.1. Kontrola pozicije egzoskeletnog robota.....	11
3.3.2. Kontrola prilagodbe egzoskeletnog robota	11
3.3.3. Kontrola mehaničkog otpora egzoskeletnog robota.....	11
3.3.4. Evaluacijski protokol za egzoskeletni robot.....	12
3.4. END EFFECTOR ROBOTI	12
3.5. PRIMJENJIVOST ROBOTSKE UREĐAJA U PRAKSI	14
3.6. ISPLATIVOST IMPLEMENTACIJE ROBOTSKE UREĐAJA U REHABILITACIJSKI PROTOKOL	16
4. RASPRAVA.....	18
5. ZAKLJUČAK.....	20
6. SAŽETAK.....	21
7. SUMMARY	22
8. LITERATURA	23
9. ŽIVOTOPIS	28

POPIS SKRAĆENICA I AKRONIMA

ICF – International classification of functioning, disability and health – Međunarodna klasifikacija funkcije, onesposobljenosti i zdravlja

BWSTT – Body weight supported treadmill training – Tjelesno potpomognuto treniranje na traci

CH – međunarodna oznaka za Švicarsku

USA – međunarodna oznaka za Sjedinjene Američke Države

JPN – međunarodna oznaka za Japan

GER – međunarodna oznaka za Njemačku

ITA – Međunarodna oznaka za Italiju

EKG – elektro-kardio gram

FES – funkcionalna električna stimulacija

NIHSS – National institute of health stroke scale

FIM – Functional independence measurement – Funkcijski indeks samostalnosti

DEGAS - Deutsche Gangtrainer Studie; Njemačka studija treninga hoda

1. UVOD

Moždani udar je stanje uzrokovano prekidom dotoka krvi u mozak, zbog začepjenja krvne žile ili njenog puknuća. Prekidom dovoda krvi, zaustavlja se dopremanje kisika i hranjivih tvari što uzrokuje oštećenje zahvaćenog moždanog tkiva (1). Najčešći znakovi i simptomi moždanog udara su: iznenadna oduzetost lica, ruke ili noge, najčešće na jednoj strani tijela. Drugi simptomi su zbunjenost, poteškoće u govoru ili razumjevanju govora; poteškoće s vidom, otežano hodanje, vrtoglavica, gubitak ravnoteže ili koordinacije, teška glavobolja bez očiglednog uzroka, nesvjestica. Posljedice moždanog udara ovise o dijelu mozga koji je zahvaćen i jačini samog moždanog udara. Moždani udar izuzetne jačine može dovesti do smrti bolesnika (2). Moždani udar prvi je uzrok invalidnosti u Republici Hrvatskoj i na drugom mjestu uzroka smrtnosti. U svjetskim razmjerima, godišnje oko 15 milijuna ljudi doživi moždani udar, od čega 6 milijuna umre od posljedica udara (1). U Sjedinjenim Američkim Državama, moždani udar godišnje akumulira 54 milijarde dolara gubitka, od čega 36,5 milijardi odlazi na izravnu medicinsku skrb za bolesnika, dok ostatak otpada na gubitak koji se stvori zbog smanjene produktivnosti pacijenata. Procjena je da nas očekuje eksponencijalni rast u idućim desetljećima na globalnom nivou, posebice u slabije razvijenim zemljama. Od osoba koje su preživjele moždani udar, dvije trećine ostaju s neurološkim deficitom različitog stupnja, dok preostala trećina ostaje trajno onesposobljena za samostalni život. Svjetska zdravstvena organizacija je kroz svoju Međunarodnu klasifikaciju funkcije, onesposobljenosti i zdravlja (ICF - International classification of functioning, disability and health) kategorizirala utjecaj bolesti na tri dimenzije: tjelesnu (struktura i funkcionalnost tjelesnih sustava), dimenziju aktivnosti (raspon aktivnosti koje provodi pojedinac) i dimenziju sudjelovanja (djelovi društvenog života u kojima pojedinac sudjeluje, ima socijalni pristup ili barijere). Ta kategorizacija korelira s neurološkim

oštećenjem, invaliditetom i hendikepom, pojmovima koji su vezani za moždani udar (3). Posljedice moždanog udara na bolesniku manifestiraju se kroz motorički deficit, koji uzrokuje radnu i fizičku nesposobnost, depresiju, demenciju te kognitivne poremećaje. Liječenje ovih bolesnika provodi rehabilitacijska medicina, koja za cilj ima oporavak bolesnika na stanje prije moždanog udara. Povratak radne sposobnosti, mogućnosti nesmetane socijalne interakcije te provođenje samostalne brige o sebi zadatak je koji pred sebe moraju postaviti i bolesnik i rehabilitacijsko osoblje. Jedan od glavnih koraka u procesu rehabilitacije bolesnika jest povratak ponovne sposobnosti samostalnog hoda kod nepokretnih bolesnika. Ponovna sposobnost hoda se smatra najboljim pokazateljem oporavka motoričke funkcije. Rehabilitacijska medicina oporavku hoda pridaje veliku važnost, te se kroz dugi niz godina bavila razvijanjem tehnika kojim bi se bolesniku omogućila ponovna samostalna pokretljivost. Po zadnjim istraživanjima, dvije su kategorije u koje možemo uvrstiti sve tehnike rehabilitacije hoda; neurofiziološka tehnika i tehnika ponovnog motornog učenja. Neurofiziološka tehnika, čiji je najpoznatiji i najstariji predstavnik Bobath koncept, se temelji na aktivnoj i pasivnoj vježbi zahvaćenih udova bolesnika. Koncept promovira motoričko učenje kroz specifične vježbe u raznim uvjetima, poboljšavajući funkciju i motoričku kontrolu udova. Tehnika ponovnog motornog učenja temelji se na aktivnom radu bolesnika sa zahvaćenim udom, ponavljajućim vježbama pokušava se ponovno „naučiti“ izgubljena funkcija tj. sposobnost. Neuroplastičnost je ta koja se smatra glavnim razlogom oporavka motoričkih funkcija nakon moždanog udara. Ona se odnosi na promjene koje se zbivaju u ponovnoj organizaciji mreže neurona na području mozga koji je zahvaćen moždanim udarom, koje dovode do oporavka i funkcionalne prilagodljivosti bolesnikovih poremećenih funkcija nakon moždanog udara. Da bi se potakla neuralna plastičnost, potrebno je bolesnika podvrgnuti vježbi i osigurati mu novo iskustvo da bi mogao ponovno naučiti ciljane funkcije. Potrebne su vježbe s

učestalim ponavljanjem, visokim intenzitetom te zadatkom usmjerene kretnje. Zadnjih dvadeset godina tjelesno potpomognuto treniranje hoda na pokretnoj traci (na engleskom Body Weight Supported Treadmil Training - BWSTT) najrašireniji je model rehabilitacije kroz motoričko učenje. Pokazao je značajne rezultate u produljenju dužine koraka, povećavanju izdržljivosti i brzine hoda bolesnika. Taj model zahtjeva 3 ili više terapeuta koji pomažu bolesniku tako što mu usmjeravaju noge po zadanoj putanji i stabiliziraju zdjelicu, dok remenje potpomaže držati tjelesnu težinu bolesniku te osigurava hod u rasterećenju (4). Kvaliteta takvog načina rehabilitacije ovisi o iskustvu fizioterapeuta, a zbog zamora osoblja, vježbe su kratkotrajne i nema povratnih informacija o napretku. Pored ovih konvencionalnih metoda, u kojima su glavni protagonisti fizioterapeuti, u zadnjem desetljeću je sve više zastupljena upotreba robotike. Napredak u medicinskoj tehnologiji uvjetovao je sve veću upotrebu robota da bi se eliminirala ljudska pogreška i nadomjestili ljudski nedostaci. U polju rehabilitacijske medicine, konkretno oporavku hoda, robotika je viđena kao idealni mehanizam za brže i efektivnije rezultate procesa oporavka. Iako su se tek počeli uvoditi, roboti su sadašnjost rehabilitacijske medicine, a uz svakodnevni napredak na polju tehnologija, sa sigurnošću se može reći da su oni i budućnost.

2. SVRHA RADA

Ovaj rad će se baviti evaluacijom učinkovitosti elektromehaničkih uređaja pri rehabilitaciji hoda nakon moždanog udara u odnosu na konvencionalne tehnike. Istražit će ekonomski aspekt implementacije robota u zdravstveni program konvencionalne rehabilitacije na primjerima iz prakse.

3. PREGLED LITERATURE NA ZADANU TEMU

3.1. PROCJENA TEŽINE MOŽDANOG UDARA

Težina moždanog udara je bitan faktor u daljnjem razvijanju oporavka bolesnika i planiranju njegove rehabilitacije. Sasvim je logično zaključiti, da što je veći moždani udar, to će teže biti i posljedice. Ne treba zanemariti ni lokaciju, jer o mjestu udara ovisi i gubitak ili oštećenje pojedinih funkcija i sposobnosti bolesnika. Zato su razvijene tablice za procjenu težine moždanog udara i razinu motoričke onesposobljenosti, te za praćenje napretka rehabilitacije (5).

Jedna od njih je i NIHSS upitnik (National institute of health stroke scale) uz koji se izračunava i funkcijski indeks samostalnosti (Functional independence measurement – FIM). NIHSS je upitnik koja se sastoji od 11 koraka neurološkog pregleda kojim se može kvantitativno evaluirati posljedice akutnog moždanog udara na područje svijesti, govora, pamćenja, vida, motorike, ataksije, dizatrije i gubitka osjeta. Ocjene su u rasponu 0-4, gdje ocjena 0 označava normalnu funkciju, dok pak viši broj označava neki stupanj oštećenja. Maksimalan broj bodova je 42, a raspon 21-42 označava teški oblik moždanog udara. Umjereni do teški moždani udar ima raspon 16-20, dok umjereni moždani udar ima raspon 5-15. Blagi moždani udar imaju bolesnici koji na NIHSS imaju 1-4. Ovisno o težini moždanog udara, tj. o rezultatu NIHSS skale, određuje se stupanj terapije koju će bolesnik primiti. Za popunjavanje tablice potrebno je deset minuta.

Funkcijski indeks samostalnosti ocjenjuje fizičku i spoznajnu invalidnost bolesnika, fokusirajući se na količinu potrebne njege koju zahtjeva nivo onesposobljenosti bolesnika. Ima šest segmenata, a to su osobna higijena, mobilnost, komunikacija, socijalna kognicija, kontrola sfinktera i kretanje. Ukupno ima 18 stavki, svaka se boduje s 1-7 što čini maksimalnih 126 bodova. Što je veći broj bodova, veća je i neovisnost bolesnika(6), (7).

3.1.1. Europski upitnik za moždani udar (European stroke scale - ESS)

Sastoji se od 14 parametara koji evaluiraju cjelokupno stanje bolesnika, slično kao NIHSS. Parametri su nivo svijesti, razumjevanje, govor, vidno polje, bulbomotorika, pokreti lica, ispružene ruke, uzdignute ruke, ispružanje dlana, mobilnost prstiju, održavanje noge u položaju, fleksija noge, dorzifleksija stopala i hod. Upitnik se koristi za mjerenje terapijskog napretka i za uspoređivanje pacijenata u svrhu istraživanja. Maksimalni broj bodova je 100, što odgovara zdravoj osobi (8).

3.1.2. Fugl-Meyer procjena

Smatra se za jednu od najtemeljitijih tablica za procjenu stanja po moždanom udaru. Koristi se za ispitivanje motoričke funkcije bolesnika, najčešće za potrebe istraživanja i planiranja rehabilitacije. Varijacija je Likertove skale, ima ukupno 226 bodova, svrstanih u pet područja: motorička funkcija, osjetna funkcija, balans, radijus kretanja zglobova i bol u zglobovima. Područja se mogu koristiti pojedinačno, bez potrebe da se ispuni kompletna tablica (9).

3.1.3. Berg balans skala

Nije izravno povezana s moždanim udarom, već je razvijena da bi se mjerila razina poremećaja balansa kod starijih ljudi. Provodi se kroz funkcionalne zadatke kojima je podvrgnut bolesnik, ukupno 14 njih, a izražava se u riziku od pada. Koristi se u kliničkoj praksi i u istraživanjima (10).

3.2. ELEKTROMEHANIČKI ROBOTI U REHABILITACIJI

HODA

Povijest primjene robotike u medicini veže se za prenamjenu industrijskih robota. Zbog svoje masivnosti i rigidnosti, njihova primjena predstavljala je problem u praksi. S vremenom su se razvili robotski uređaji odgovarajućih karakteristika, smanjene mase, povećane fleksibilnosti i lakšeg servisiranja i upravljanja, te veće sigurnosti za kvalitetniju interakciju s bolesnicima.

Elektromehanički robotski uređaji koji se koriste u rehabilitaciji hoda kod bolesnika koji su preboljeli moždani udar, po načinu djelovanja dijele se u dvije glavne skupine: egzoskeletni roboti ili vanjski kosturi te „end-effector“ roboti tj. roboti kojima je interaktivni dio na kraju robotske ruke (11). U komercijalnoj upotrebi nalaze se Lokomat (Hocoma, CH), Auto Ambulator (HealthSouth, USA)(12) i HAL (Cyberdyne, JPN) (13) od ortoza te Gait trainer 1 (Hesse, GER), G-EO (Bolsano, ITA), Lokohelp (Weil am Rhein, GER) i Gaitmaster (Tanaka, JPN) (12), (14). Po dostupnoj literaturi, dva najkorištenija uređaja su Lokomat i Gait trainer 1.

Lokomat (Hocoma, CH) je robotski uređaj u kojem su kombinirani ortoza sa sustavom tjelesne potpore i pokretne trake te multimedijalno sučelje (15). Pokreti bolesnika se odvijaju u kuku i koljenu, usklađeni s pokretnom trakom, dok je zdjelica fiksirana. Razina potpore tijela i brzina pokreta trake se mogu podešavati ovisno o potrebama i napretku bolesnika (16), (11). Multimedijalno sučelje omogućuje bolesniku povratne informacije o napretku koji je obavio tokom vježbe.



Slika 1. Lokomat, Hocoma CH. (izvor slike: www.hocoma.com)

Gait trainer 1 (Hesse, GER) temelji se na principu robotske ruke koja na svom kraju ima pokretne ploče na kojima počivaju noge bolesnika tokom vježbe dok su koljeno i kuk nepričvršćeni za razliku od egzoskeleta. Bolesnik je poduprt sustavom tjelesne potpore, dok mu je tijelo ukotvljeno pomoću užadi koja su privezana na sustav potpore (11), (14).



Slika 2. i 3. Gait Trainer 1, Reha stim, GER. (izvor slike: www.reha-stim.de)

3.3. EGZOSKELETNI ROBOTSKI UREĐAJI

Egzoskeletni roboti su robotski trening uređaji koji svoj rad ostvaruju paralelno s ljudskim tijelom, s njim su i povezani te imaju mehaničku snagu da prenesu energiju na ljudske ekstremitete (16). Lokomat je prvi moderni automatizirani robot koji se temelji na tjelesno potpomognutom treningu na pokretnoj traci. Sustav se sastoji od nosive samopokretne ortoze za hod, koja obavlja pokretanje kuka i koljena u sagitalnim rotacijama, pokretne trake i sustava potpore bolesnika (15). Pokreće ga motor s istosmjernom strujom koji stvara konstantan napon. Taj konstantan napon omogućava jednakomjernu i stabilnu ispostavu energije za pokretanje preciznih i stabilnih uređaja. Egzoskeletni robot je programiran da radi pod pretpostavkom da je u savršenom poravnanju s bolesnikovim zglobovima. Kontakt između ortoze i bolesnika je monitoriran kroz dvosmjerne senzore okretnog momenta položenih u seriji s motorima istosmjerne struje koji pokreću ortozu. Ortoza je s pokretnom trakom povezana rotacijskim paralelogramom da bi se stabilizirao trup bolesnika, dok je tijelo poduprto remenjem koje je zakačeno na metalnu konstrukciju. Svrha robotski asistirane vježbe hoda jest poticanje neuroplastičnosti u cilju poboljšanja motoričke funkcije hoda bolesnika. Intenzivne vježbe s ponavljanjem i vježbe s zadatkom mogu postići značajne rezultate na poboljšanju neuroplastičnosti. Vježba hoda koja se izvodi uz pomoć robota mora biti prilagođena mogućnostima bolesnika i razini njegove onesposobljenosti, dok ga se istovremeno mora poticati i ohrabrivati da aktivno sudjeluje u svom oporavku. Osim mehaničkih komponenta egzoskeletnog robota, ostali dijelovi robotski asistirane vježbe hoda su kontrola pozicije, mehanička impendancija tj. otpor i prilagodljivi program vježbe (17).

3.3.1. Kontrola pozicije egzoskeletnog robota

Princip rada kontrole pozicije jest zadržavanje bolesnikovih udova na zadanoj putanji kretanja, uz dozvoljene varijacije. Senzorni dio koji očitava trenutnu poziciju tijela u prostoru nalazi se u pozicijskim kontrolorima koji su smješteni na zglobovima. Pretpostavljena putanja je dobivena matematičkim izračunima do kojih se došlo uz pomoć analiziranja podataka koji su dobijeni od strane zdravih osoba. Drugi model koji se koristi je tzv. "teach and replay" model ili "nauči i ponovi". On se koristi putanjom koju odrede fizioterapeuti pomicanjem robota i bolesnikove noge, te se ta radnja ponovi od strane robota i bolesnika. Treća metoda, koja je nedavno osmišljena, primjenjuje se kod hemiparetičnih bolesnika. Koriste se informacije iz zdrave noge te se algoritmom prenose u putanju ortoze bolesne noge. Kontrola pozicije otklanja kinematičku grešku u pretpostavljenoj putanji hoda, koja je bitna stavka u motornom učenju. To može rezultirati nepravilnim načinom hoda i utjecati na bolesnikovu adaptaciju na fiziološki hod (16), (18).

3.3.2. Kontrola prilagodbe egzoskeletnog robota

Osnova prilagodbene asistencije jest da se pokreti robota prilagode bolesniku. Preko povratnih informacija od strane kontrolora otpora, algoritmom se izračuna količina potrebne kinematike da bi se omogućio pokret bolesnika. To predodređuje pokret otpora, koji ovisi o fizičkoj interakciji između robota i bolesnika (17), (19).

3.3.3. Kontrola mehaničkog otpora egzoskeletnog robota

Mehanički otpor predstavlja odnos između sile koju su izveli motori i rezultirajućeg pokreta. Kontrolori otpora rade na principu "force based control impedance" ili kontrola otpora na mjestu sile, i najčešće su postavljeni na dva mjesta u robotu - vanjska pozicija koju čini pozicija ortoze i unutrašnja sila koju čini sila kao produkt motora. Ideja iza kontrolora otpora u Lokomatu jest da se dozvole određene varijacije u varijablama

Lokomata u odnosu na zadane postavke, sve to u cilju da se prilagodi potrebama bolesnika tj. otporu koji on stvara prilikom pokreta. Dok je bolesnikov pokret u rasponu koji je zadan po putanji, stroj neće intervenirati. Ako se pređu zadane granice, i pretjera s varijacijama, stroj će vratiti bolesnika na putanju (20).

3.3.4. Evaluacijski protokol za egzoskeletni robot

Magagnin et al napravili su evaluacijski protokol koji se sastoji od kontinuiranog mjerenja EKG-a i respiracije kroz 6 faza: sjedeći položaj s punom tjelesnom potporom, Lokomat potpomognuto hodanje u dvije različite brzine s 50 % tjelesne potpore i oporavak u stojećem položaju bez tjelesne potpore (21).

3.4. END EFFECTOR ROBOTI

Robotski uređaji koji svoju funkciju obavljaju uz pomoć dvije robotske ruke na čijim su krajevima dvije ploče na koje se postavljaju bolesnikove noge. Simulacija hoda obavlja se kroz kretnje zamaha i stajanja, te vertikalno pomicanje ploče tj. noge tokom faze zamaha. Robot omogućava djelomičnu ili potpunu podršku bolesniku u ispunjavanju kretnje, ovisno o zahtjevima i mogućnostima bolesnika (19). Brzina hoda i duljina koraka mogu se individualno podešavati. Vertikalni i horizontalni pokreti bolesnikova trupa su korigirani ormom koja stabilizira bolesnika tokom vježbe. Takav koncept dovodi do bilateralnog (svaka robotska ruka je zasebna jedinica integrirana u jedan stroj) i distalno navođenog (end - effect, radnja koju robot obavlja odvija se na distalnom dijelu bolesnikova uda - stopalo) treniranja hoda. Koljena bolesniku nisu fiksirana, što omogućuje fizioterapeutu pristup da sam korigira kretnje što je pak bitan faktor u procesu oporavka; omogućuje mu da pravi korekcije u kretnji koljena ako je to potrebno ili predviđeno terapijom. Osim slobodnog pristupa terapeuta, koriste se još neke tehnike

stabiliziranja koljena tokom vježbe. To su FES ili funkcionalna električna stimulacija te mehanički osigurači (opruge i šipke) (14).

Funkcionalna električna stimulacija je tehnika koja koristi niskonaponsku struju da bi izazvala grčevite pokrete mišića. U Gait traineru 1 se pak koristi 8 - kanalni FES, koji je u prednosti nad mehaničkim osiguračima zbog manjeg opterećenja bolesnikova uda i manje razine ograničenja pokreta te više prirodnih stupnjeva slobode (22).

Pokretač end effector robota su motori ili aktuatori, koji su smješteni na bazama robotskih ruku. To stvara manje mehaničkog otpora u usporedbi s aktivnim ortozama kojima su motori smješteni na spojnica. Manji mehanički otpor dovodi do mogućnosti boljeg iskorištavanja snage motora te samim tim dovodi do toga da robot ima veći opseg kretanja, bolje performanse i veću stabilnost (14).

Zbog manjeg mehaničkog opterećenja, end effector roboti dozvoljavaju čak i najslabijem bolesniku da izvede i najmanji pokret. Jednostavnim algoritmima može se uvesti jači otpor kad nam je potrebno da kretanja bude kontrolirana i navođena; ili jednostavno kad bolesnik dovoljno ojača da mu je za daljni napredak potrebna vježba s preprekom (23).

Haptic walker napravljen je kao modifikacija Gait trainer 1 da bi se omogućilo provođenje raznovrsnijih modela vježbi. Brzina kojom Haptic walker može simulirati hod jest 5 km/h i 120 koraka u minuti. Sustav je u mogućnosti provoditi simulaciju hodanja po neravnoj zemlji, spoticanje; uz standardne putanje poput hodanja po ravnom i simuliranja hoda uz i niz stepenice (24).

3.5. PRIMJENJIVOST ROBOTSКИH UREĐAJA U PRAKSI

Robotski uređaji, kao relativno nova tehnika rehabilitacije hoda u bolesnika nakon preboljelog moždanog udara, nisu naišli na plodno tlo u svim rehabilitacijskim ustanovama u Europi i svijetu. Dobrim dijelom zbog svoje cijene i održavanja, ali isto tako i zbog manjka kvalitetnih studija kojom bi se pokazale jasne pogodnosti primjene robota u svakodnevnom radu. Dobar dio studija koje se provode imaju svoje nedostatke; bez standardiziranog protokola provođenja istraživanja, malen uzorak ispitanika i proturječne rezultate. Ovdje ću navesti najznačajnije studije koje govore u korist primjene robotskih uređaja u rehabilitaciji hoda.

Pohl i suradnici 2007. godine su napravili studiju (tzv. DEGAS studija) kojom su željeli saznati postoji li napredak u rehabilitaciji hoda uz djelomičnu primjenu robotskih pomagala. Obuhvatili su 155 ispitanika na rehabilitaciji koji su nasumično raspoređeni u dvije grupe. Grupa A obavljala je 20-minutni trening na aktivnoj ortozi tipa Gait trainer 1, nakon čega su imali 25-minutnu individualnu fizioterapiju od strane fizioterapeuta. Grupa B imala je 45-minutnu individualnu terapiju s fizioterapeutima. Obje grupe primale su identičnu količinu tretmana, svakodnevno kroz četiri tjedna. Na kraju tretmana od četiri tjedna, grupa A pokazala je značajno veći udjel bolesnika koji su mogli samostalno hodati u odnosu na grupu B (53% nasuprot 22%). Mjerio se i Barthel index, gdje je omjer bio sličan, 57% naspram 27%. Nakon 6 mjeseci, povećao se udio bolesnika koji su mogli samostalno hodati, i to značajno u grupi A (70%) nasuprot grupe B (36%). Barthel index, pak, nije više pokazivao značajne razlike (58% grupa A, 46% grupa B) (25).

Schwartz i suradnici proveli su sličnu studiju 2009. godine. kojom su željeli zabilježiti učinke korištenja robotske tehnologije u subakutnih pacijenata. Njihovo istraživanje je obuhvatilo 67 bolesnika koji su bili u procesu rehabilitacije manje od tri

mjeseca. Oni su nasumično raspoređeni u dvije grupe, koje su ravnomjerno dobijale 30 minuta fizikalne terapije pet dana u tjednu kroz šest tjedana. Pokusna grupa primila je dodatnih 20 minuta terapije Lokomatom tri puta na tjedan, kroz šest tjedana. Nakon šest tjedana kontrolna grupa primila je isto toliko fizikalne terapije. Rezultati su išli u korist eksperimentalne grupe i Lokomata, jer je veći udio bolesnika samostalno hodao na kraju pokusa (20/37) u odnosu na kontrolnu grupu (8/28). Eksperimentalna grupa imala je u globalu bolji NIHSS rezultat na kraju tretmana (6.6 nasuprot 8.0) (26).

Morone i suradnici su 2011. godine napravili istraživanje nad 48 nepokretnih bolesnika koji su raspoređeni u dvije skupine po razini onesposobljenosti (visoka i niska, po Motricity indexu). Svaka skupina je pak nasumično podijeljena u dvije grupe, eksperimentalnu (koja je koristila robote) i kontrolnu koja je primala samo konvencionalnu terapiju. Rezultati su pokazali da je kod grupe koja je imala manje onesposobljene bolesnike, uporaba robotskih uređaja značajno oporavila hod u odnosu na kontrolnu grupu koja je primala samo konvencionalnu terapiju. U grupi sa teže onesposobljenim bolesnicima, pokazalo se da ne postoji razlika u rezultatima između kontrolne i eksperimentalne grupe (27).

Mehrholz i suradnici proveli su 2013. godine studiju za Cochraneovu bazu podataka u kojoj su skupili i evaluirali sve radove koji su se bavili kliničkom aplikacijom robotskih uređaja u rehabilitaciji hoda nakon moždanog udara. Na osnovu obrađenih podataka, kojima je obuhvaćeno 23 ispitivanja u koja su uključena 999 bolesnika, autori su zaključili da bolesnici imaju puno veću šansu za oporavak hoda ako se u sklopu rehabilitacije koristi robot uz konvencionalu fizioterapiju. Isto tako, zaključili su da puno bolji učinak terapija ima u prva tri mjeseca, tj. kod akutnih i subakutnih bolesnika (28).

3.6. ISPLATIVOST IMPLEMENTACIJE ROBOTSKIH

UREĐAJA U REHABILITACIJSKI PROTOKOL

Kad se razmišlja o uvođenju novih tehnologija, prvo pitanje koje se postavlja je ono o financijskom aspektu. Nove tehnologije često su skupe, od cijene samog proizvoda do njegovog godišnjeg održavanja, osiguranja, osoblja koje će raditi s njim, potrošnja energije itd (29). Na primjeru Lokomata švicarske tvrtke Hocoma, kojeg koristi Shepherd centar iz Atlante, izrađena je ekonomska analiza petogodišnjeg korištenja uređaja u rehabilitaciji hoda (Tablica 1.). Po analizi, uređaj je korišten 1500 puta u svrhu terapije, 6 puta dnevno, 5 dana u tjednu kroz 50 tjedana u godini. Pokazalo se da im se Lokomat, kojem je cijena jedne terapije iznosila 98 dolara u Shepherd centru, isplatio nakon 28 mjeseci, tj. 3544 terapija. Treba napomenuti da je u konkretnom slučaju terapija Lokomatom izvan sufinanciranja ili potpunog pokrivanja od strane osiguravajućih društava ili državnog zdravstvenog sustava, što znači da je bolesnik taj koji plaća punu cijenu terapijskog programa u koji je uključen i uređaj (29).

Tablica 1. *Petogodišnja financijska analiza profita Shepherd centra.*

(engleska verzija preuzeta s <https://www.hocoma.com/>)

	LokomatPro	LokomatNanos
Vrijeme isplaćivanja (po broju učinjenih terapija)	3,544	2,631
1 - godišnji profit	-202 000 \$	-112 000 \$
3 - godišnji profit	94 000 \$	185 000 \$
4 - godišnji profit	242 000 \$	333 000 \$
5 - godišnji profit	391 000 \$	481 000 \$

Osim samoisplaćivanja, pokazalo se da robotski provođenje vježbe hoda značajno rasterećuje fizioterapeute. Time se smanjuje njihov fizički napor, jer je vježba hodanja

jedna od najzahtjevnijih u rehabilitacijskoj medicini; smanjuje se i broj fizioterapeuta potrebnih za izvođenje vježbe. Dugoročno, smanjuje se mogućnost od ozljeda na radu i odlaska na bolovanje. Isto tako, robotski uređaji smanjuju broj dana provedenih u bolnici zbog rehabilitacije, jer je pokazano da se uz pomoć njih prije dolazi do vidljivih rezultata i bolesnik brže prohoda, nego u slučaju kad se koristi samo konvencionalna terapija (30).

4. RASPRAVA

U ovom radu, prikazao sam principe rada robotskih uređaja koji služe za oporavak hoda u bolesnika koji su preboljeli moždani udar. Napredak tehnologije je omogućio seriju kvalitetnih robota koji zadovoljavaju stroge kriterije rada s bolesnicima. Stvoreni su roboti koji su bolesnik - interaktivni, fleksibilni, s više stupnjeva slobode i većom sigurnošću korištenja. U zadnjih deset godina došlo je do veće uporabe robota u rehabilitaciji hoda po centrima u razvijenijim zemljama, iako je njihova zastupljenost i dalje minimalna. Velika studija koju su izveli njemački stručnjaci na čelu s Pohlom (tzv. DEGAS studija) usporedila je primjenu Gait trainer robota u kombinaciji s konvencionalnom fizioterapijom, nasuprot samostalne konvencionalne terapije. U studiji je na 155 bolesnika dokazano da se primjenom robotike postiže puno veći udjel bolesnika koji samostalno hodaju u odnosu na konvencionalnu terapiju. Schwartz i suradnici su proveli istraživanje u kojem su koristili Lokomat, te su došli do istih rezultata koji su govorili u prilog upotrebi robota. Morone je sa suradnicima uzeo u obzir razinu onesposobljenosti bolesnika. Svrstao je ispitanike u dvije grupe, onu s višim i nižim stupnjem onesposobljenosti. Dokazao je da upotreba robota u kombinaciji s klasičnom fizikalnom terapijom značajno poboljšava hod u odnosu na samostalnu klasičnu terapiju kod manje onesposobljenih bolesnika. U grupi s više onesposobljenih bolesnika, roboti ne prave razliku. Jedan od najznačajnijih radova, na koji se referiraju mnogi autori, jest metaanaliza koju su proveli Mehrholz i suradnici za Cochraneovu bazu podataka. Obuhvatili su 23 ispitivanja i 999 bolesnika te zaključili da je veća šansa za oporavak hoda u bolesnika kod kojih se kroisti robot u sklopu rehabilitacije, te da je ona učinkovita kod bolesnika u akutnoj i subakutnoj fazi. Treba napomenuti da se uporabom robotike smanjuje boravak bolesnika u bolnici, brže dolazi do oporavka i ponovne integracije bolesnika u društvo. S ekonomskog aspekta, dugoročno se isplati ulaganje u robotsku tehnologiju, iako su kratkoročni troškovi veliki. Razlog zašto roboti

nisu u široj upotrebi, osim finansijskog, je i nedovoljan broj studija koje sa sigurnošću mogu ustvrditi značajnu razliku u rehabilitaciji koju čini robotski asistirana terapija, stoga je i na tom polju potrebno napraviti opširnije studije koje će dati dovoljno čvrste razloge da robotika bude sastavni dio rehabilitacijske medicine.

5. ZAKLJUČAK

Robotska tehnologija već sada u rehabilitaciji ima svoje mjesto primjene. Zbog sve većeg broja bolesnika koji oboljevaju od moždanog udara, raste broj bolesnika koji imaju potrebu za rehabilitacijom. Oporavak hoda je jedan od ključnih segmenata na putu potpunog oporavka bolesnika, i njegove ponovne integracije u društvo i socijalni život. Dosadašnje konvencionalne metode oporavka hoda, od kojih je najznačajnija i najkorištenija BWSTT metoda, nemaju u potpunosti zadovoljavajuće rezultate. Roboti su kroz relativno kratko vrijeme primjene, u zadnjih deset godina, pokazali da imaju potencijala. Trenutno se koriste u velikom broju rehabilitacijskih centara kao nadopuna konvencionalnim metodama terapije, a u slučaju BWSTT može poslužiti i kao potpuna zamjena. Već sada se trošak njihove implementacije može opravdati financijskom isplativošću, samo od izravnih prihoda uređaj se može otplatiti kroz nekoliko godina. U obzir treba uzeti i neizravne benefite, poput rasterećenja osoblja. Iako još nisu pokazali da mogu u potpunosti zamjeniti tradicionalne metode terapije niti su pokazali značajniji napredak u odnosu na dosadašnje metode, ne treba zaboraviti da tehnologija napreduje, i samo je pitanje vremena kad će robotika ostvariti svoj puni potencijal u rehabilitaciji hoda. Zadatak je rehabilitacijske medicine da radi na usklađivanju konvencionalnih i modernih tehnika u praksi. Treba pripremiti polje za buduću koheziju robota i fizioterapeuta kao elementarne jedinice u procesu rehabilitacije bolesnika.

6. SAŽETAK

Moždani udar na prvom je mjestu uzroka invalidnosti u Svijetu. Svake godine skoro 15 milijuna ljudi doživi moždani udar, od čega 6 milijuna umre. Oni koji prežive moždani udar, suočavaju se s posljedicama moždanog udara koji se manifestira kroz invalidnost, hendikep i smanjenu funkciju organizma u cjelini. Kroz proces rehabilitacije, bolesnicima se želi omogućiti ponovnu integraciju u društvo. Nositelj oporavka bolesnika je rehabilitacijska medicina, a jedan od glavnih zadataka i najveća prepreka bolesnicima jest oporavak hoda. Pored konvencionalnih tehnika, koje provode fizioterapeuti, u zadnjih deset godina sve je prisutnija uporaba robota u rehabilitaciji hoda. Robotima se pokušava poboljšati efikasnost terapije i napraviti bolje rezultate u konačnom oporavku bolesnika. Roboti se u grubo mogu podjeliti na dvije skupine, egzoskeletne i end effector robote. Obje vrste robota pokazale su pozitivne rezultate u praktičnom radu s bolesnicima. Pojedine veće studije su dokazale korisnost korištenja robotske tehnologije uz konvencionalnu tehniku. Dokazano je da bolesnici koji prolaze kroz robotsku terapiju, uz konvencionalnu, imaju više rezultate na testovima procjene oporavka od bolesnika koji su prolazili samo konvencionalnu terapiju. S ekonomskog aspekta, implementacija robotike u rehabilitacijsku medicinu je izuzetno skup proces s visokim kratkoročnim troškovima. No ako se uzmu u obzir primjeri iz prakse, treba razmišljati dugoročno i sagledati uštedu koja može doći nakon dužeg vremenskog perioda. Najveći dio toga proizlazi iz rasterećenja fizioterapeutskog osoblja, jer je vježba oporavka hoda najzahtjevnija za fizioterapeute u rehabilitacijskoj medicini.

Ključne riječi: rehabilitacija, roboti, hod, treniranje, egzoskelet, end-effector, moždani udar

7. SUMMARY

Stroke is in the first place cause of disability in the world. Every year nearly 15 million people suffer from stroke, of which 6 million die. Those who survive stroke, are faced with the consequences of it, which is manifested through disability, handicap and reduced function of the organism as a whole. Through the process of rehabilitation, patients is allowed an oportunity to re-integrate into society. Main protagonist of recovery is rehabilitation medicine, and one of the main tasks and the biggest obstacle to patients recovery is walk. In addition to conventional techniques, carried out by physiotherapists, in the last ten years use of robots in rehabilitation walk is very common. Robots are there to improve the efficiency of the therapy and make better results in the final recovery of patients. Robots can be roughly divided into two groups, exoskeletal and end effector robots. Both types of robots have shown positive results in practical work with patients. Some major studies have proven the usefulness of using robotic technology with the conventional technique. It has been shown that patients undergoing robotic therapy, alongside with conventional therapy, have higher scores on functional tests than patients who have passed only conventional therapy. From an economic point of view, the implementation of robotics in rehabilitation medicine is very expensive process with high short-term costs. But if we take into account the examples from practise, we need to think long term and consider savings that may occur after a long period of time. Most of that comes from relieving physiotherapy staff, because walk recovery is the most challenging exercise for physical therapists in rehabilitation medicine.

Keywords: rehabilitation, robotics, gait, training, exoskelet, end-effector, stroke

8. LITERATURA

1. Organisation WH. WHO: Stroke, Cerebrovascular accident [Internet]. Stroke. 2011. p. Health Topics: Stroke. Dostupno na: http://www.who.int/topics/cerebrovascular_accident/en/, pristupljeno dana 23.05.2016
2. Roos KL. Emergency Neurology. Emergency Neurology. 2012. 1-394 p.
3. Who. Icf checklist. Organization. 2003;(September):1–15.
4. Excellence NI for H and C. Stroke rehabilitation. Natl Clin Guidel Centre, 2013. 2013;(April 2007).
5. Kasner SE. Clinical interpretation and use of stroke scales. Vol. 5, Lancet Neurology. 2006. p. 603–12.
6. Heinemann A W; Harvey R L; McGuire J R; Ingberman D; Lovell, L; Semik, P; Roth EJ. Measurement properties of the NIH Stroke Scale during acute rehabilitation. Stroke. 1997;28(6):1174–80.
7. Schnurrer-Luke-Vrbanić T; Avancini-Dobrović V; Bakran, Ž; Kadojić M. Smjernice za rehabilitaciju osoba nakon moždanog udara. Hrvatsko društvo za fizikalnu i rehabilitacijsku medicinu;2016:str.9
8. Hantson L, De Weerd W, De Keyser J, Diener HC, Franke C, Palm R, et al. The European Stroke Scale. Stroke [Internet]. 1994;25(11):2215–9. Dostupno na: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17943677>, pristupljeno dana 21.04.2016
9. Gladstone DJ, Danells CJ, Black SE. The fugl-meyer assessment of motor recovery after stroke: a critical review of its measurement properties. Neurorehabil Neural Repair. 2002;16(3):232–40.

10. Berg T, Scale B, Bbs T, Score T. Berg Balance Scale. Arch Phys Med Rehabil [Internet]. 2009;73(3):2–5. Dostupno na: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19573108>, pristupljeno dana 13.05.2016.
11. Keyvani K. Textbook of Neural Repair and Rehabilitation. Vol. 65, Journal of Neuropathology and Experimental Neurology. 2006. 1101 p.
12. Pennycott A, Wyss D, Vallery H, Klamroth-Marganska V, Riener R. Towards more effective robotic gait training for stroke rehabilitation: a review. J Neuroeng Rehabil. 2012;9(1):65.
13. Nilsson A, Vreede KS, Häglund V, Kawamoto H, Sankai Y, Borg J. Gait training early after stroke with a new exoskeleton--the hybrid assistive limb: a study of safety and feasibility. J Neuroeng Rehabil [Internet]. 2014;11:92. Dostupno na: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=4065313&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>, pristupljeno dana 15.05.2016.
14. Hesse S, Schattat N, Mehrholz J, Werner C, Humboldt PB. Evidence of end-effector based gait machines in gait rehabilitation after CNS lesion. 2013;33:77–84.
15. Westlake KP, Patten C. Pilot study of Lokomat versus manual-assisted treadmill training for locomotor recovery post-stroke. J Neuroeng Rehabil. 2009;6:18.
16. Hussain S, Xie SQ, Liu G. Robot assisted treadmill training: Mechanisms and training strategies. Med Eng Phys [Internet]. Institute of Physics and Engineering in Medicine; 2011;33(5):527–33. Dostupno na: <http://dx.doi.org/10.1016/j.medengphy.2010.12.010>, pristupljeno dana 3.5.2016
17. Hogan N, Krebs HI. Physically interactive robotic technology for neuromotor rehabilitation [Internet]. 1st ed. Vol. 192, Progress in Brain Research. Elsevier B.V.;

2011. 59-68 p. Dostupno na: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-53355-5.00004-X>, pristupljeno dana 5.5.2016.

18. Bolmsjo G, Neveryd H, Efring H. Robotics in rehabilitation. *IEEE Trans Rehabil Eng.* 1995;3(1):77–83.
19. Krebs HI, Volpe BT. Rehabilitation Robotics. *Handb Clin Neurol.* 2013;110:283–94.
20. Hussain S, Xie SQ, Jamwal PK. Control of a robotic orthosis for gait rehabilitation. *Rob Auton Syst.* 2013;61(9):911–9.
21. Magagnin V, Bo I, Turiel M, Fornari M, Caiani EG, Porta A. Effects of robot-driven gait orthosis treadmill training on the autonomic response in rehabilitation-responsive stroke and cervical spondylotic myelopathy patients. *Gait Posture.* 2010;32(2):199–204.
22. Zhang D, Guan TH, Widjaja F, Ang WT. Functional electrical stimulation in rehabilitation engineering. In: *Proceedings of the 1st international convention on Rehabilitation engineering & assistive technology in conjunction with 1st Tan Tock Seng Hospital Neurorehabilitation Meeting - i-CREATe '07.* 2007. p. 221–6.
23. Hussein S, Krüger J. Patient adaptive control of end-effector based gait rehabilitation devices using a haptic control framework. In: *IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics.* 2011.
24. Schmidt H, Krüger J, Hesse S. HapticWalker - Haptic foot device for gait rehabilitation. In: *Human Haptic Perception: Basics and Applications.* 2008. p. 501–11.
25. Pohl M, Werner C, Holzgraefe M, Kroczeck G, Mehrholz J, Wingendorf I, et al.

Repetitive locomotor training and physiotherapy improve walking and basic activities of daily living after stroke: a single-blind, randomized multicentre trial (DEutsche GAngrainerStudie, DEGAS). *Clin Rehabil* [Internet]. 2007;21(1):17–27.

Dostupno na:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17213237> \nhttp://gw2jh3xr2c.search.serialsolutions.com?url_ver=Z39.88-

[2004&rft_val_fmt=info:ofi/fmt:kev:mtx:journal&rft_id=info:sid/Ovid:med5&rft.genre=article&rft_id=info:doi/&rft_id=info:pmid/17213237&rft.issn=0269-](http://gw2jh3xr2c.search.serialsolutions.com?url_ver=Z39.88-2004&rft_val_fmt=info:ofi/fmt:kev:mtx:journal&rft_id=info:sid/Ovid:med5&rft.genre=article&rft_id=info:doi/&rft_id=info:pmid/17213237&rft.issn=0269-)

21, pristupljeno dana 6.5.2016.

26. Schwartz I, Sajin A, Fisher I, Neeb M, Shochina M, Katz-Leurer M, et al. The effectiveness of locomotor therapy using robotic-assisted gait training in subacute stroke patients: a randomized controlled trial. *PM R* [Internet]. 2009;1(6):516–23. Dostupno na: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pmrj.2009.03.009>, pristupljeno dana 7.5.2016.
27. Morone G, Bragoni M, Iosa M, De Angelis D, Venturiero V, Coiro P, et al. Who may benefit from robotic-assisted gait training?: a randomized clinical trial in patients with subacute stroke. *Neurorehabil Neural Repair*. 2011;25(7):636–44.
28. Mehrholz J, Werner C, Kugler J, Pohl M. Electromechanical-assisted training for walking after stroke. *Cochrane Database Syst Rev*. 2007;(4).
29. Turchetti G, Vitiello N, Trieste L, Romiti S, Geisler E, Micera S. Why effectiveness of robot-mediated neurorehabilitation does not necessarily influence its adoption. *IEEE Rev Biomed Eng*. 2014;7:143–53.
30. Reinkensmeyer D, Aoyagi D, Emken J, Galvez J, Ichinose W, Kerdanyan G, et al. Robotic gait training: toward more natural movements and optimal training

algorithms. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. 2004;7:4818–21.

9. ŽIVOTOPIS

Nikola Đurđević rođen je u Kninu 01. 02. 1991. Osnovnu školu završava u Kninu 2006. godine. Iste godine upisuje Medicinsku i kemijsku školu u Šibeniku, smjer medicinski tehničar, koju završava 2010. godine kao učenik generacije. Po završenom 4. razredu, pristupa Državnoj maturi i ostvaruje pravo upisa na Medicinski fakultet Sveučilišta u Rijeci u akademskoj godini 2010/11. Sve godine studiranja redovno polaže ispite, ujedno radi i kao demonstrator na Zavodu za fiziologiju i imunologiju zadnje tri godine svog školovanja.