

# Elektromehanički roboti u rehabilitaciji ruke kod bolesnika nakon preboljelog moždanog udara

---

Koljđeraj, Simon

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:184:623262>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-24**



*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**

**Simon Koljđeraj**

**ELEKTROMEHANIČKI ROBOTI U REHABILITACIJI RUKE KOD BOLESNIKA**

**NAKON PREBOLJELOG MOŽDANOG UDARA**

**Diplomski rad**

**Rijeka, 2016.**

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

**Simon Koljđeraj**

**ELEKTROMEHANIČKI ROBOTI U REHABILITACIJI RUKE KOD BOLESNIKA**

**NAKON PREBOLJELOG MOŽDANOG UDARA**

**Diplomski rad**

**Rijeka, 2016.**

Mentor rada: Prof. dr. sc. Tea Schnurrer Luke Vrbanić, dr.med.

Diplomski rad ocijenjen je dana \_\_\_\_\_ u/na \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_, pred povjerenstvom u sastavu:

1. \_\_\_\_\_

2. \_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_

Rad sadrži 21 stranicu, 2 slike , 1 tablicu, 20 literaturnih  
navoda.

## Sadržaj

|  |    |
|--|----|
| 1. UVOD .....  | 1  |
| 2. SVRHA RADA.....                                     | 3  |
| 3. ELEKTROMEHANIČKI ROBOTI U REHABILITACIJI RUKE ..... | 4  |
| 3.1. Egzoskeletni i “end effector” roboti.....         | 6  |
| 3.2. Stupnjevi slobode .....                           | 7  |
| 4. NEUROPLASTIČNOST .....                              | 8  |
| 5. EVALUACIJA MOŽDANOG UDARA .....                     | 9  |
| 5.1. Skala procjene težine moždanog udara .....        | 9  |
| 5.2. Funkcijski test samostalnosti.....                | 9  |
| 5.3. Fugl Meyerova skala .....                         | 10 |
| 5.4. Aktivnosti svakodnevnog života .....              | 10 |
| 6. IMPLEMENTACIJA ROBOTIKE U REHABILITACIJU .....      | 11 |
| 7. EKONOMSKA ISPLATIVOST ROBOTSKE REHABILITACIJE.....  | 13 |
| 8. RASPRAVA .....                                      | 14 |
| 9. ZAKLJUČAK.....                                      | 15 |
| 10. SAŽETAK .....                                      | 16 |
| 11. SUMMARY .....                                      | 17 |
| 12. LITERATURA .....                                   | 18 |
| 13. ŽIVOTOPIS.....                                     | 21 |

## **POPIS SKRAĆENICA**

WHO - World health organization

MIT – Massachusetts institute of technology

Ss - stupnjevi slobode

NIHSS – National institute of health stroke scale

FIM – Functional independence measurement

FMA - Fugl Meyer assessment

ADL – Activities of daily living

# 1. UVOD

Moždani udar je neurološki poremećaj koji nastaje zbog nedovoljne oksigenacije mozga zbog poremećaja protoka krvi u krvnim žilama mozga. Može biti ishemijski uzrokovan ugruškom koji blokira protok krvi ili hemoragijski gdje puknućem krvne žile krv slobodno difundira u moždano tkivo. Najčešći simptomi su iznenadna oduzetost jedne strane lica, poteškoće u govoru, gubitak mišićne koordinacije i ravnoteže, otežan hod i vid, vrtoglavica i nesvjestica. Simptomi ovise o mjestu nastanka moždanog udara. Hemipareza ili hemiplegija su najčešće posljedice moždanog udara. Gubitak funkcije ruke je na kontralateralnoj strani od polutke mozga koja je zahvaćena. Glavni simptomi u ruci su slabost određenih mišića, slab mišićni tonus, gubitak koordinacije zglobova, gubitak osjeta, gubitak sinergije pokreta i gubitak osjeta. Svake godine 15 milijuna ljudi ima moždani udar. Od tog broja trećina ostane trajno onesposobljena (1). Moždani udar je najčešći uzročnik invalidnosti u Hrvatskoj i u svijetu. Iako incidencija opada u razvijenim zemljama sveukupni broj oboljelih raste zbog starenja populacije (2). Svjetska zdravstvena organizacija (WHO) predviđa da će se broj pacijenata oboljelih od moždanih udara povećati za 30% u vremenskom periodu od 2000. do 2025. godine (3). Onesposobljenost ruke ima veliki socijalni utjecaj na bolesnike te je oporavak parcijalan i individualan. Jedna petina bolesnika zahtijeva bolničku njegu 3 mjeseca nakon moždanog udara. U Sjedinjenim Američkim Državama direktni i indirektni troškovi liječenja bolesnika su dosegli 40.9 milijardi dolara, dok su doživotni troškovi jednog bolesnika 140 tisuća dolara (4). Liječenje moždanog udara zahtijeva interdisciplinarni pristup neurologije, kirurgije, kardiologije, psihologije, logopedije i fizikalne medicine. Rehabilitacijski cilj je povratak funkcije ruke u što

većoj mjeri da bi bolesnik mogao ostati nezavisan i da mu je integracija u socijalni život, a samim time i kvaliteta života što veća. Bolesnici zahtijevaju kontinuiranu medicinsku njegu i fizikalnu terapiju koja je namijenjena individualno jednom bolesniku što znači da fizikalni terapeut uvijek mora biti uz bolesnika za vrijeme terapije. Rehabilitacija počinje tijekom akutne hospitalizacije nakon što je bolesnik izvan životne opasnosti, što je najčešće 24 do 48 sati nakon moždanog udara. Tijek rehabilitacije uključuje: akutnu bolničku rehabilitaciju (cijelodnevna njega bolesnika, 3 sata terapije dnevno), jednodnevnu bolničku rehabilitaciju (3 - 6 sati terapije, individualna ili grupna terapija, uključen logoped, psiholog i fizikalni terapeut), ambulatnu rehabilitaciju i fizioterapiju u domu pacijenta (5). Zbog konstantnog povećanja broja bolesnika i prekapacitiranosti zdravstvenog sustava i osoblja potrebne su nove tehnike rehabilitacije bolesnika. U zadnjih desetak godina učinjeni su veliki koraci u razvoju robotike u terapijske svrhe. Elektromehanički roboti mogu učiniti revoluciju u rehabilitaciji jer su učinkovitiji i brži od konvencionalnih metoda te su sposobni matematički pratiti tijek rehabilitacije što jako olakšava posao fizioterapeutima, doktorima i istraživačima koji prate i razvijaju robotsku tehnologiju.



## **2. SVRHA RADA**

Ovaj rad se bavi opisivanjem osnovnih elektromehaničkih robota korištenih u rehabilitaciji ruke kod bolesnika nakon preboljelog moždanog udara te procjena njihove iskoristivosti i mogućeg korištenja u zdravstvenom sustavu.

### 3. ELEKTROMEHANIČKI ROBOTI U REHABILITACIJI RUKE

Robotska rehabilitacija je nastala istraživanjem pokretnih egzoskeletnih uređaja šezdesetih godina 20. stoljeća. Istraživanje egzoskeletnih robota su predvodile znanstvenici iz Sjedinjenih Američkih Država i Jugoslavije. Američki znanstvenici su fokus rada usmjerili u vojno iskorištavanje robota, a jugoslavenski znanstvenici su istraživali primjenu u medicinske svrhe (6,7). Korištenje robota u medicinske svrhe je bio spor proces koji je najviše ovisio o razvoju robota koji su korišteni u industrijske svrhe. Zbog prevelikog obujma uređaja, teškog održavanja i visoke cijene tek zadnjih petnaestak godina roboti su našli svoje mjesto u medicini. Danas imamo veliki broj komercijalno dostupnih uređaja te se taj broj u zadnjih godina rapidno povećava (Tablica 1.). Jedan od prvih uređaja je bio MIT manus koji se 11 godina razvijao na MIT-u (Massachusetts Institute of technology) (8). MIT manus je planarni modul sa dva stupnja slobode koji omogućuje pokrete u nadlaktici i laktu. Ponavlja veliki broj pokreta pri dohvatu određene točke dok istovremeno kontrolira otpor pokretu (9). Današnja komercijalna verzija je InMotion robot. Elektromehanički roboti se po mehaničkim karakteristikama dijele u dvije kategorije: egzoskeletni i “end effector” roboti. Po načinu kontrole pokreta svrstani su u 5 grupa:

- Pasivni pokret u kojem robotski uređaj pomiče ruku bolesnika
- Aktivni neasistentni modus u kojem robot ne pomaže bolesniku
- Aktivni asistentni modus u kojem robot pomaže pri nepravilnim pokretima
- Rezistentni modus u kojem robot pruža otpor bolesniku pri pokretu
- Bimanualna vježba u kojoj je aktivni pokret zdrave ruke kopiran pokretima pogođene ruke bilo aktivnim/pasivnim/asistentnim načinom (10).

**Tablica 1. Elektromehanički roboti za ruku**

| <b>Uređaj</b>                                 | <b>Karakteristike</b>   |
|---|---|
| InMotion robot                                | 3 aktivna ss, zglobni robot montiran na kraj planarnog robota (MIT manus), dopušta 5 ss u ramenu, laktu i ručnom zglobu                     |
| Mirror Image Movement Enhancer                | 6 ss, tretman je fokusiran na funkcije ramena i lakta, unilateralan i bilateralan   |
| Bi-Manu-Track                                 | 1 ss u vježbanju supinacije i pronacije podlaktice te fleksije i ekstenzije ručnog zgloba, bilateralan trening u aktivnom i pasivnom modusu |
| Gentle/S                                      | 3 aktivna ss, sa još 3 pasivna ss koji omogućuju pronaciju i supinaciju lakta te fleksiju i ekstenziju ručnog zgloba                        |
| Arm robot ARMin                               | Poluegzoskeleton za pokrete u ramenu (3ss), laktu (1ss), podlaktici (1ss) i ručnom zglobu (1ss), audio vizualni ekran                       |
| Assisted Rehabilitation and Measurement Guide | Robot s 4 ss, omogućuje posezanje rukom kod pacijenta sa kroničnim moždanim udarom  |
| REHAROB Therapeutic system                    | Koristi industrijske robote, opremljen sa sigurnosnim sustavom, koristi se u pasivnim kretnjama ramena i lakta                              |
| NeuroRehabilitation Robot                     | 3 ss, lako prenosiv, povratne informacije   |

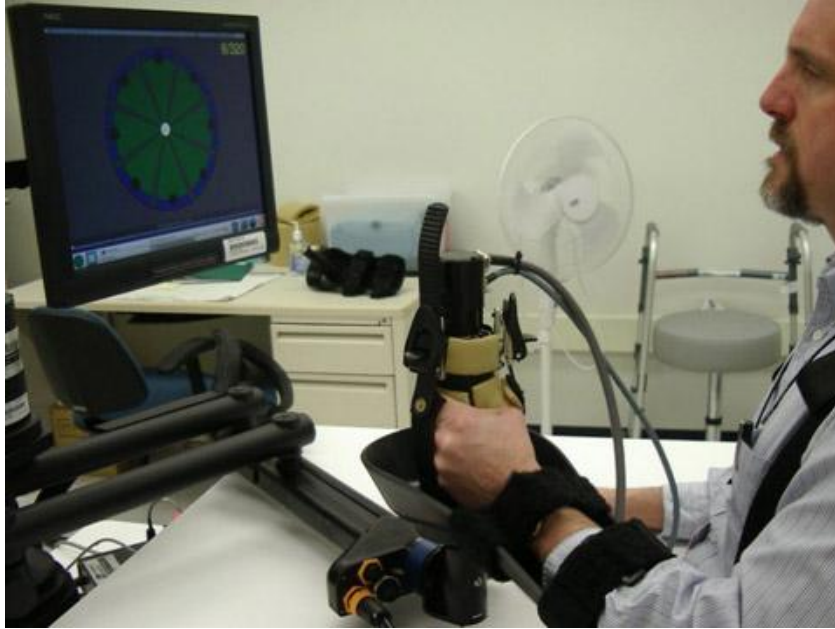
### 3.1. Egzoskeletni i “end effector” roboti

Egzoskeletni roboti su roboti koji su paralelni sa rukom bolesnika, imaju hvatišta za ruku na više mjesta te nose motore na konstrukciji. Pokreti robota u cjelosti prate pokret ruke. Egzoskeletni roboti se moraju prilagoditi dužini ruke bolesnika te zbog toga imaju dijelove koji se mogu ovisno o potrebi produžiti ili skratiti. Oni su puno rigidniji jer nose svoje motore te je samim time veći i otpor pokretu koji bolesnik mora napraviti. Zbog toga, većina egzoskeletnih uređaja ima aktivnu pomoć u pokretu.

“End effector” roboti imaju robotsku ruku koja je svojim krajem povezana sa bolesnikom te pokreti robota nisu istovjetni s pokretima ruke bolesnika nego pomičući svoj kraj utječu na pokrete ruke. Motori robota su smješteni u bazi uređaja te je samim time potrebna manja snaga motora što za posljedicu ima puno manji otpor pokretu. Ovi uređaji su veći i teži od egzoskeletnih uređaja ali se puno lakše mogu prilagoditi pojedincu.



*Slika 1. Egzoskeletni rehabilitacijski robot*



*Slika 2. "End effector" rehabilitacijski robot*

### **3.2 Stupnjevi slobode**

Stupnjevi slobode određuju broj smjerova u kojima se može pokretati robot. Zavisno o konstrukciji i potrebi mogu imati od jedan do osam ss sa tendencijom da taj broj raste. Ljudska ruka ima 22 stupnja slobode te je nemoguće s današnjom tehnologijom replicirati toliki broj stupnjeva. Nova ruka proizvedena na MIT-u je dizajnirana posebno da pacijent vježba hvat rukom (11). Taj limitirani dizajn (2 ss) je izabran da olakša terapiju kroničnih i teških bolesnika sa značajnom hemiparezom ruke i šake. Napravljen je kompromis da se napravi jeftin i lagan modul koji se može spojiti sa MIT manusom. Potreba za većim brojem ss je relativna te ovisi o načinu na kojem se pristupa terapiji bolesnika.

## 4. NEUROPLASTIČNOST

Neuroplastičnost označava pojam koji upisuje mehanizme oporavka i vraćanja prvobitne funkcije koja je izgubljena nakon moždanog udara. To se postiže funkcijskom adaptacijom i mijenjanjem organizacije neuronskih veza. Funkcija se prebacuje na neurone i putove koji su ostali očuvani, jačanjem paralelnih veza i sinapsi koje prvobitno nisu sudjelovale u motornim putovima, ali nakon što je dominantni put prekinut preuzimaju njegovu ulogu. Iako se neuralnom proliferacijom ne može zamijeniti oštećeno tkivo stvaranjem novih veza i pojačanom mijelinizacijom može se obnoviti izgubljena funkcija. Sposobnost središnjeg živčanog sustava da adaptira svoju strukturnu organizaciju nakon lezije u mozgu pod utjecajem je osjetilne stimulacije, iskustva i učenja (12). Velika je korelacija između multisenzorne rehabilitacije i oporavka u bolesnika koji su imali moždani udar. Dobro organizirane terapije ujedinjene sa multisenzornom rehabilitacijom induciraju neuralnu adaptaciju te motorni i funkcionalni opravak paretične ruke. Zbog toga je upotreba automatskih uređaja pronašla svoje mjesto u rehabilitaciji. Elektromehanički roboti pomažu terapeutima povećavajući intenzitet terapija i uz moderne uređaje koji dolaze u kompletu s audio vizualnim sustavom podižu motivaciju bolesnika za konstantnim ponavljanjem istih vježbi. Ovi uređaji su taktilnim sučeljem povezani s bolesnikom, te aktivnim i pasivnim pokretima pomažu bolesniku u izvršavanju zadaća. Elektromehanički roboti tako posjeduju osjetilnu stimulaciju te su sposobni konstantnim ponavljanjem vježbi bolesniku omogućiti novo iskustvo i novi način korištenja ruke što su sve preduvjeti za oporavak u rehabilitaciji.

## **5. EVALUACIJA MOŽDANOG UDARA**

Jedan od najvažnijih faktora u organiziranju terapije je evaluacija razine oštećenja nakon moždanog udara. Razina ovisi o mjestu i veličini lezije. Da bi rehabilitacija imala maksimalan učinak potrebno ju je prilagoditi bolesniku a to je moguće uz korištenje standardiziranih skala i indeksa koje se koriste globalno. Jedne od najčešće primjenjenih su NIHSS skala, FIM indeks, FMA indeks i ADL skala.

### **5.1 Skala procjene težine moždanog udara**

Skala procjene težine moždanog udara ( eng. National Institute of Health Stroke Scale, NIHSS) je standardizirani upitnik koji se koristi pri evaluaciji pacijenta. Upitnik ima 11 dijelova koji se ocjenjuju od 0 do 4 gdje 0 opisuje normalnu funkcije dok viši brojevi opisuju razinu oštećenja određene funkcije. Zbrojem svih odgovora dobijemo ukupan broj kojim možemo procijeniti razinu oštećenja. Maksimalan broj bodova je 42. Raspon od 0-4 označava lakše oštećenje s dobrom prognozom te je preporučena dnevna bolnica ili ambulanta te rehabilitacija u kući. Raspon od 5 – 15 označava srednje oštećenje te je potrebna subakutna stacionirana medicinska rehabilitacija u dužem trajanju. Raspon od 16 – 19 označava srednje do jako oštećenje te je potrebna hospitalizacija, liječenje komplikacija uz pasivnu fizioterapiju. Raspon od 21 – 42 predstavlja jako oštećenje mozga s lošom prognozom (13).

### **5.2. Funkcijski test samostalnosti**

Uz NIHSS obavezno dolazi i funkcijski test samostalnosti ( eng. Functional independence measurment, FIM). FIM ocjenjuje fizičku i kognitivnu aktivnost bolesnika. Posjeduje 6 područja: osobna higijena, kontrola sfinktera, mobilnost, kretanje, komunikacija i socijalna kognicija.

Svako područje ima 18 stavaka, a ocjenjuje se od 1 do 7. Minimalan broj je 18, a maksimalan 126. Što je broj veći, veća je i neovisnost bolesnika (13).

### **5.3. Fugl Meyerova skala**

Fugl Meyerova skala (eng. Fugl Meyer Assessment, FMA) služi za procjenu gornjeg i donjeg ekstremiteta. Postoji više verzija koje mogu biti prilagođene samo za gornji ekstremitet. FMA ima 5 područja i 155 stavki koje se ocjenjuju. Ispituje se motorno funkcioniranje, osjet (evaluira se lagani dodir u dvije točke na ruci i nozi te osjećaj pozicije u 8 zglobova), ravnoteža (7 testova, 3 sjedeća i 4 stajaća), mogućnost opsega pokreta u 8 zglobova te ispitivanje boli u zglobovima. Jedna mana skale je dužina trajanja testa jer s prosječnom dužinom od sat vremena oduzima mnogo vremena osoblju. Vrednovanje je bazirano na direktnom promatranju bolesnika, a ocjenjuje se od 0 do 2, gdje pri 0 bolesnik ne može učiniti pokret, kod 1 djelomično može, a kod 2 može u potpunosti. Maksimalan broj bodova je 226. Motorna skala je u rasponu od 0 (hemiplegija) do 100 (normalna funkcija) gdje 66 bodova pripada gornjem ekstremitetu, a 34 donjem. Osjet taktilnosti i propriocepcije je u rasponu od 0 do 24 bodova gdje se 8 bodova dobiva za taktilnost, a 16 za propriocepciju. Ravnoteža ima od 0 do 14 bodova (6 bodova za sjedenje, 8 za stajanje). Opseg pokreta i bol u zglobovima su u rasponu od 0 do 44 (14, 15).

### **5.4. Aktivnosti svakodnevnog života**

Procjena aktivnosti u svakodnevnom životu (eng. Activities of Daily Living, ADL) odnosi se na radnje koje pojedinac u svakodnevnom životu može učiniti samostalno: ustajanje iz kreveta, sjedenje i dizanje iz sjedećeg položaja, hodanje, osobna higijena, oblačenje, kupanje, tuširanje, sposobnost obavljanja velike i male nužde, hranjenje (ne računa se kuhanje). Ovo je najosnovnija verzija, a postoje i mnoge proširene koje opisuju daljnu neovisnost bolesnika.



## 6. IMPLEMENTACIJA ROBOTIKE U REHABILITACIJU

Robotika nije sustavno primjenjena u rehabilitaciji u zdravstvenim sustavima širom svijeta. Glavni razlog tome je to što je to relativno nova tehnologija te su uređaji poprilično skupi, te je otežan i sam popravak zbog malog broja uređaja, a i malog broja tehničara koji bi bili sposobni proizvesti i popravljati takve uređaje. Broj studija implementacije robotike u rehabilitaciji je relativno mali, ali ima tendenciju rasta zadnjih godina. Kliničke studije su gotovo uvijek provedene na malom kliničkom uzorku te se ne mogu smatrati standardiziranima. Rezultati poprilično odudaraju od istraživanja do istraživanja te su često oprečni. Jedan od većih problema je i borba samih proizvođača robota i njihov utjecaj na istraživanja. U nastavku će biti prikazano više istraživanja i objasniti će se njihovi rezultati.

Peter S. Lum i suradnici su 2002. proveli istraživanje gdje su 27 bolesnika podijelili u dvije grupe. Tijekom dva mjeseca dvije grupe su obavile 24 terapije u trajanju od jednog sata. Jedna grupa je terapiju obavljala koristeći rehabilitacijski robot dok je druga imala konvencionalnu terapiju. Uspoređujući sa kontrolnom grupom robotska grupa je imala veći napredak u FMA skali nakon mjesec dana kao i nakon dva mjeseca. Robotska grupa je imala i povećanje u snazi te u dohvat rukom. Nakon 6 mjeseci grupe se nisu razlikovale u FMA, ali je zato robotska grupa imala pozitivniji FIM (16).

Susanto i suradnici su 2015. objavili istraživanje u kojem su uspoređivali dvije skupine bolesnika: jedna skupina je imala konvencionalnu terapiju, a druga skupina robotsku terapiju. Dvadeset ispitanika (6 do 24 mjeseca nakon moždanog udara) je obavilo 20 jednosatnih treninga prstiju ruke te se njih 18 vratilo nakon 6 mjeseci na evaluaciju napretka. Terapija se izvodila 3-5

puta tjedno s tim da je svih 20 treninga obavljeno u najviše 5 tjedana. Neposredno nakon terapije obje skupine su postigle napredak ali nakon 6 mjeseci skupina koja je prošla robotsku terapiju je imala bolje rezultate (17).

Cristophe Duret i suradnici su proveli istraživanje koristeći InMotion robot. Istraživanje je obuhvaćalo bolesnike sa teškom ili srednje teškom parezom ruke te su imali lošu Fugl Meyer procjenu ( $FMA < 35$ ). 25 bolesnika u subakutnoj fazi moždanog udara ( $52 \pm 21$  dan) je imalo kriterije za sudjelovanje u istraživanju. Svi bolesnici su prošli 16 terapija usporedno sa konvencionalnom terapijom. Svaka terapija je trajala 45 minuta, 4 dana u tjednu. Na prvoj terapiji svaki bolesnik je napravio  $614 \pm 250$  pokreta, na polovici terapije su dosegli  $780 \pm 271$  pokreta te na zadnjem  $857 \pm 342$  pokreta. FMA se povećao za 49 % od prvog do zadnjeg treninga. Brzina pokreta se povećala te je ispitanik u prosjeku sa 1.6 sekunde na prvom treningu obavio pokret za 1.35 sekunde na zadnjem. Snaga ruke se povećala za 10 % (18).

Marie Helene Milot i suradnici su proveli istraživanje u kojem su uspoređivali dvije vrste treninga u robotskoj terapiji. Podijeljeni su u dvije grupe te su u grupi A prvo imali terapije gdje se vježbao samo jedan zglob. Terapija je trajala 4 tjedna te su tri puta tjedno vježbali po sat vremena. Nakon tjedan pauze 4 tjedna su imali terapije u istom intenzitetu, ali se vježbalo više zglobova. Grupa B je imala obrnuti raspored. Procjena se radila prije početka terapije, nakon pauze, nakon gotove terapije te 3 mjeseca kasnije. 20 bolesnika je sudjelovalo u istraživanju. Nije uočena značajna statistička razlika između dvije vrste terapije. FMA se povećao za minimalnih tri boda, a ADL se popravio u 17 od 20 ispitanika (19).

## 7. EKONOMSKA ISPLATIVOST ROBOTSKE REHABILITACIJE

Svaka nova tehnologija je u početku skupa, ali s vremenom cijene padaju zbog veće ponude na tržištu te pronalaskom jeftinijih načina izrade i manjim ulaganjem u razvoj. Zadnjih godina razvoj robotike je veoma brz te možemo očekivati da će se pozitivni momentum nastaviti. Samim time može se očekivati pad cijena te veća dostupnost robotike u medicinske svrhe. Daljnim razvojem roboti će biti još učinkovitiji u rehabilitaciji te će njihova implementacija u medicini s vremenom postati standard.

Todd H. Wagner i suradnici su proveli istraživanje na 127 ispitanika u kojem su uspoređivali ekonomsku isplativost različitih vrsta rehabilitacije. Ispitanici su podijeljeni u tri kategorije. U prvoj skupini (n=49) bolesnici su imali robotsku terapiju udruženu sa konvencionalnom terapijom. U drugoj skupini (n=50) bolesnici su imali intenzivnu konvencionalnu terapiju, a u trećoj (n=28) standardnu konvencionalnu terapiju. Istraživanje je trajalo 36 tjedana. Nakon 36 tjedana cjelokupni trošak je bio 17 831 dolara za robotsku terapiju, 19 746 dolara za intenzivnu terapiju i 19 098 dolara za konvencionalnu terapiju. Razlike u oporavku su bile minimalne i statistički neznačajne. U ovo istraživanje nije uračunata cijena uređaja, ali se jasno vidi ušteda te je trošak značajno manji ako usporedimo sat vremena terapije robota (140 dolara) i sat vremena intenzivne terapije (218 dolara) (20).

Robotska terapija može biti jeftinija od konvencionalnih metoda te će se upotrebom robota u medicini potreba za educiranom radnom snagom smanjiti što će stvoriti još veće uštede za zdravstveni sustav. Prvobitno velika ulaganja bi trebala s vremenom postati ušteda, a padom cijena robota možemo očekivati i manja prvobitna ulaganja.

## 8. RASPRAVA

Broj bolesnika kojima je potrebna terapija nakon preboljelog moždanog udara je svake godine sve veći. Opterećenje zdravstvenog sustava da svakom bolesniku omogući svrsishodnu terapiju i osposobi bolesnika za normalno funkcioniranje može biti rasterećeno implementacijom robotike u rehabilitaciju. Korištenje robotike u rehabilitaciji ruke je tek u svojim začetima te samim time broj bolesnika koji se tako liječi je nedovoljan za pravu statističku analizu. Peter S. Lum i suradnici su još 2002. dokazali da upotrebom robotike bolesnici brže vraćaju izgubljene funkcije. Todd H. Wagner i suradnici su dokazali da robotska rehabilitacija može biti ekonomski isplativa što će biti jedan od odlučujućih faktora u korištenju robotike. Sat vremena terapije robota je jeftinije od intenzivne terapije. Prvobitna velika ulaganja se mogu s vremenom isplatiti. Cristophe Duret i suradnici su koristeći InMotion robot dokazali pozitivan napredak u svim aspektima rehabilitacije. Susanto i suradnici su 2015. dokazali da je robotska rehabilitacija bila bolja od konvencionalne gledajući i kratkoročni i dugoročni napredak bolesnika. Većina bolesnika koji koristi robotske sustave u rehabilitaciji ima povećanu motivaciju zbog interaktivnog sučelja gdje pacijenti igrajući razne igre provode svoju terapiju. Roboti mogu mjeriti napredak bolesnika u svakom pokretu te davati vrijedne informacije medicinskom osoblju koji upravljaju rehabilitacijom. Iako robotska rehabilitacija u usporedbi s konvencionalnom pokazuje minimalnu razliku u krajnjim rezultatima mora se uzeti u obzir mali broj istraživanja te pogotovo mali uzorci bolesnika u tim istraživanjima. Potrebna su opsežnija istraživanja sa većim brojem bolesnika za finalnu procjenu ulaska robotike u rehabilitaciju.

## 9. ZAKLJUČAK

Budući razvoj robotike će nam omogućiti sve naprednije i jeftinije robotske sustave sa nezamislivim krajnjim mogućnostima. Današnje konvencionalne metode rehabilitacije su donekle dosegle svoj vrhunac te krajnji rezultati tehnika nisu savršeni. Oporavak bolesnika nakon preboljelog moždanog udara je veoma bitan za cjelokupno društvo. Broj bolesnika će samo rasti, a kako je zdravstveni sustav ionako opterećen lošim financijskim stanjem i manjkom osoblja, roboti će naći svoje mjesto u medicini. Osoblje medicinskih ustanova će moći posvetiti više vremena bolesnicima. Roboti će pružati bolji uvid u trenutno stanje bolesnika te će se lakše pratiti tijekom rehabilitacije. Trenutni roboti na tržištu nisu pokazali veliku razliku prema konvencionalnim metodama, ali treba uzeti u obzir da robotika napreduje velikim koracima te možemo očekivati značajan napredak u budućnosti. Uvođenje robota u rehabilitacijsku medicinu je pitanje vremena te mnogi medicinski centri već imaju integriranu robotsku i konvencionalnu rehabilitaciju. Edukacija medicinskog osoblja mora biti pravovremena te se mora pratiti razvoj tehnologije i trendovi u najrazvijenijim medicinskim centrima. Potrebno je mnogo istraživanja na velikom broju bolesnika da bi medicinski stručnjaci u suradnji sa stručnjacima u robotici mogli napraviti robotski uređaj koji bi se mogao masovno proizvoditi i koji bi mogao postati sastavni dio svakog rehabilitacijskog centra.

## 10. SAŽETAK

Svake godine 15 milijuna ljudi na svijetu ima moždani udar. Od tog broja trećina ostane trajno onesposobljena. Moždani udar je najčešći uzročnik invalidnosti u svijetu. Iako incidencija opada u razvijenim zemljama sveukupni broj oboljelih raste zbog starenja populacije. WHO predviđa da će se broj bolesnika oboljelih od moždanih udara povećati za 30% u vremenskom periodu od 2000. do 2025. godine. Elektromehanički roboti se po mehaničkim karakteristikama dijele u dvije kategorije: egzoskeletni i “end effector” roboti. Po načinu kontrole pokreta mogu se podijeliti u 5 grupa: pasivni pokret, aktivni neasistentni modus, aktivni asistentni modus, rezistentni modus te bimanualni pokret. Egzoskeletni roboti su roboti koji su paralelni sa rukom bolesnika, imaju hvatišta za ruku na više mjesta te nose motore na konstrukciji. “End effector” roboti imaju robotsku ruku koja je svojim krajem povezana sa bolesnikom te pokreti robota nisu istovjetni s pokretima ruke bolesnika nego pomičući svoj kraj utječu na pokrete ruke. Elektromehanički roboti posjeduju osjetilnu stimulaciju te su programirani da konstantnim ponavljanjem vježbi bolesniku omoguće novo iskustvo i novi način korištenja ruke što su sve preduvjeti za oporavak u rehabilitaciji preko mehanizama neuroplastičnosti. Dokazan je pozitivni učinak robotske terapije u više istraživanja. Robotska terapija može biti jeftinija od konvencionalnih metoda te će se upotrebom robota u medicini potreba za educiranom radnom snagom smanjiti što će stvoriti još veće uštede za zdravstveni sustav. Početna velika ulaganja bi trebala s vremenom postati ušteda, a padom cijena robota možemo očekivati i manja prvobitna ulaganja. Uvođenje robota u rehabilitacijsku medicinu je pitanje vremena te mnogi medicinski centri već imaju integriranu robotsku i konvencionalnu rehabilitaciju.

## 11. SUMMARY

15 million people worldwide are annually affected by stroke. One third of that number are permanently disabled. Stroke is the leading cause of disability in the world. Although the incidence is decreasing in developed countries, the total number of disabled patients is increasing because of the aging population. WHO predicts that the number of patients with stroke will increase for another 30 % between 2000.-2025. According to their mechanical characteristics electromechanical robots are divided into two categories : exoskeleton and end effector. According to the control strategy, robots can be divided into five groups: passive movement active nonassist mode, active assist mode, resistive mode and bimanual exercise. Exoskeleton robots are parallel to the patients arm, they are connected with the arm in multiple places and the engines are placed on top of them. End effector robots have a robotic arm which is only connected by its end to the patient and although the movement of the robot is not the same like the movement of the arm the combined movement is in the same direction. Electromechanical robots have sensory stimulation and they are capable of repetitive exercise which can lead to new experiences and new ways to use the arm. All that are predictors of positive recovery in rehabilitation. The positive effects of robotic therapy have been proved in multiple studies. Robotic therapy can be more economic than conventional methods and it can lead to less usage of educated workforce which results in better savings in the healthcare system. In the beginning, the investments would be considerable but we can expect that price of the robotic systems will decrease in the near future. Applying robotics in rehabilitation medicine is a matter of time. Moreover , many leading healthcare centers are already using integrated robotic and conventional therapy.

## 12. LITERATURA

1. WHO: Stroke, Cerebrovascular accident [Internet]. Stroke. 2011. p. Health Topics: Stroke. Dostupno na: [http://www.who.int/topics/cerebrovascular\\_accident/en/](http://www.who.int/topics/cerebrovascular_accident/en/), pristupljeno dana 21.03.2016
2. World Heart Federation , cardiovascular health; stroke [Internet] dostupno na: <http://www.world-heart-federation.org/cardiovascular-health/stroke/> pristupljeno dana 16.04.2016
3. T. Truelsen, B. Piechowski - Jozwiak, R. Bonita, C. Mathers, J. Bogousslavsky, and G. Boysen, "Stroke incidence and prevalence in Europe: are view of available data," European Journal of Neurology, vol.13, no.6, pp. 581–598, 2006.
4. V. L. Roger, A. S. Go, D. M. Lloyd-Jones et al. , "Heart disease and stroke statistics—2011 update: a report from the American heart association," Circulation, vol.123, no. 4, pp.e18–e19,2011.
5. National Institute of Health [Internet] dostupno na: <https://stroke.nih.gov/materials/rehabilitation.htm> pristupljeno dana 16.04.2016
6. Dollar, A. M., and H. Herr. "Lower Extremity Exoskeletons and Active Orthoses: Challenges and State-of-the-Art." IEEE transactions on robotics: a publication of the IEEE Robotics and Automation Society 24.1 (2008): 1-15.
7. Christopher Frumento Ethan Messier Victor Montero History and Future of Rehabilitation Robotics [Internet] dostupno na : [https://www.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-031010-112312/unrestricted/HRRIQP\\_Final.pdf](https://www.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-031010-112312/unrestricted/HRRIQP_Final.pdf) pristupljeno dana 18.04.2016



8. MIT-Manus robot aids physical therapy of stroke victims [Internet] dostupno na : <http://news.mit.edu/2000/manus-0607> pristupljeno dana 19.04.2016
9. Krebs HI, Hogan NA, Aisen ML, Volpe BT: "Robot-aided neuro-rehabilitation", IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering ". 1998, 6:75-87, no.1.
10. J. Mehrholz, A. Hadrich, T. Platz, J. Kugler, and M. Pohl, "Electromechanical and robot-assisted arm training for improving generic activities of daily living, arm function, and arm muscle strength after stroke," The Cochrane Database of Systematic Reviews, no. 6, Article ID CD006876, 2008.
11. Masia L, Krebs HI, Cappa P, et al. Design and characterization of hand module for whole-arm rehabilitation following stroke. IEEE/ASME Trans Mechatron. 2007;12(4):399–407
12. W. M. Jenkins and M. M. Merzenich, "Reorganization of neo- cortical representations after brain injury: a neurophysiological model of the bases of recovery from stroke," Progress in Brain Research, vol.71, pp.249–266,1987.
13. 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
14. Rödén-Jüllig A, Britton M, Gustafsson C, Fugl-Meyer A . Validation of four scales for the acute stage of stroke. J Intern Med. 1994 Aug;236(2):125-36
15. Fugl-Meyer Assessment of sensimotor recovery after stroke (FMA) [Internet] dostupno na: [http://www.strokengine.ca/indepth/fma\\_indepth/](http://www.strokengine.ca/indepth/fma_indepth/) pristupljeno dana 16.05.2016
16. Peter S. Lum, PhD, Charles G. Burgar, MD, Peggy C. Shor, OTR, Matra Majmundar, OTR, Machiel Van der Loos, PhD Robot-assisted movement training compared with

conventional therapy techniques for the rehabilitation of upper-limb motor function after stroke Archives of Physical Medicine and Rehabilitation July 2002

17. Evan A Susanto, Raymond KY Tong, Corinna Ockenfeld and Newmen SK Ho ;Efficacy of robot-assisted fingers training in chronic stroke survivors: a pilot randomized-controlled trial Journal of Neuro Engineering and Rehabilitation (2015) 12:42 DOI 10.1186/s12984-015-0033-5
18. Christophe Duret, Ophélie Courtial, Anne-Gaëlle Grosmaire and Emilie Hutin Use of a robotic device for the rehabilitation of severe upper limb paresis in subacute stroke: Exploration of patient/robot interactions and the motor recovery BioMed Research International Volume 2015, Article ID 482389
19. Marie-Hélène Milot, Steven J Spencer, Vicky Chan, James P Allington, Julius Klein, Cathy Chou, James E Bobrow, Steven C Cramer and David J Reinkensmeyer A crossover pilot study evaluating the functional outcomes of two different types of robotic movement training in chronic stroke survivors using the arm exoskeleton BONES Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation 2013, 10:112
20. Todd H. Wagner, PhD, Albert C. Lo, MD, PhD, Peter Peduzzi, PhD, Dawn M. Bravata, MD, Grant D. Huang, PhD, Hermano I. Krebs, PhD, Robert J. Ringer, PharmD, Daniel G. Federman, MD, Lorie G. Richards, PhD, Jodie K. Haselkorn, MD, MPH, George F. Wittenberg, MD, PhD, Bruce T. Volpe, MD, Christopher T. Bever, MD, Pamela W. Duncan, PhD, PT, FAPTA, FAHA, Andrew Siroka, BA, and Peter D. Guarino, MPH, PhD An Economic Analysis of Robot-Assisted Therapy for Long- Term Upper-Limb Impairment After Stroke ; Stroke. 2011 September; 42(9): 2630–2632. doi:10.1161/STROKEAHA.110.606442

### **13. ŽIVOTOPIS**

Simon Koljđeraj je rođen 22. veljače 1988. god u Puli. 1994. god upisuje prvi razred Osnovne škole Veruda u Puli koju završava 2002. god. kao odlični učenik. Iste godine upisuje prirodoslovno-matematički smjer u Gimnaziji Pula koju završava 2006. god. kao vrlo dobar učenik. Akademske godine 2006/2007 upisuje kao redovni student integrirani preddiplomski i diplomski svučilišni studij Medicine u Rijeci. Govori engleski i talijanski jezik.