

# Robotska neurorehabilitacija

---

Carek, Mislav

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:497836>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-15**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište  
Sjever**

**Završni rad br. 218/FIZ/2023**

## **Robotska neurorehabilitacija**

**Mislav Carek, 0336044945**

Varaždin, lipanj 2023. godine

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL: Odjel za fizioterapiju

STUDIJ: preddiplomski stručni studij Fizioterapija

PREDSJEDNIK: Mislav Carek

OSOBNI BROJ: 0336044945

DATUM: 19.06.2023.

KOLEGIJ: Fizioterapija II

NASLOJ RADA: Robotska neurorehabilitacija

NASLOJ RADA NA ENGL. JEZIKU: Robotic neurorehabilitation

MENTOR: Željka Kopjar, mag phystoth

ZVANJE: predavač

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. Anica Kuzmić, pred., predsjednik
2. Željka Kopjar, pred. mentor
3. Nikolina Zaplatić Degač., pred. član
4. doc.dr.sc. Manuela Filipec, zamjenski član
5. \_\_\_\_\_

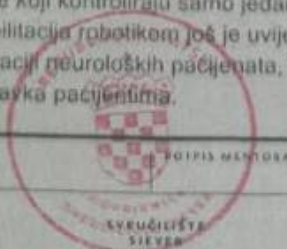
## Zadatak završnog rada

BROJ: 218/FIZ/2023

OPIS:

Neurološke komplikacije nastale kao posljedica neuroloških oštećenja ili ozljeda danas su prilično česte te se osobe koje boluju ili su preboljele oštećenje mozga suočavaju sa teškim deficitima koji im narušavaju kvalitetu svakodnevnog života. Neka od najčešćih neuroloških oboljenja i ozljeda su: moždani udar, multipla skleroza, Parkinsonova bolest i ozljede leđne moždine i mozga. Proces rehabilitacije svakog od ovih neuroloških problema zahtjeva preciznu dijagnostiku kako bi se odredilo u kojem je stadiju bolest, te o kakvim se oštećenjima radi. Neuroplastičnost je temelj na kojem se bazira suvremena neurorehabilitacija nakon oštećenja mozga, a odnosi se na sposobnost mozga da se reorganizira i uspostavi nove sinapse između neurona koji preuzimaju ulogu i funkcionalnost oštećenih dijelova tijela. Robotska neurorehabilitacija koristi robotske i senzorne uređaje kojima je cilj pomagati u izvođenju terapije, te povećati i pojačati učinak terapije. Kombinira se tradicionalna terapija te robotski i računalne polpomognute tehnologije. U procesu rehabilitacije koriste se razna robotska pomagala. Roboti se dijele na robote koji kontroliraju samo jedan dio uda i egzoskeletone koji upravljaju cijelim udom. Neurorehabilitacija robotikom još je uvijek u procesu razvoja te je relativno nepoznat pojamu liječenju i rehabilitaciji neuroloških pacijenata, međutim ovakav vid liječenja i rehabilitacije pruža mogućnost oporavka pacijentima.

ZADATAK UVIJEN: 19.06.2023.



Kopjar



# Sveučilište Sjever

**Fizioterapija**

**Završni rad br. 218/FIZ/2023**

## **Robotska neurorehabilitacija**

**Student**

Mislav Carek, 0336044945

**Mentor**

Željka Kopjar, mag. physioth.

Varaždin, lipanj 2023. godine





## **Predgovor**

Zahvaljujem se mentorici Željki Kopjar, mag. physioth. na prihvaćanju mentorstva, vodstvu i idejama oko završnog rada. Hvala svim profesorima koji su se trudili prenijeti nam znanje kroz teorijski i praktični dio nastave. Zahvaljujem se svim kolegicama i kolegama s kojima je bio užitak studirati ove tri godine.

Posebno hvala mojim roditeljima koji su mi sve ovo omogućili.

## Sažetak

Neurološke komplikacije nastale kao posljedica neuroloških oštećenja ili ozljeda danas su prilično česte te se osobe koje boluju ili su preboljele oštećenje mozga suočavaju sa teškim deficitima koji im narušavaju kvalitetu svakodnevnog života. Razvoj neurorehabilitacije predstavlja novi način rehabilitacije osoba s takvim problemima i ima ključnu ulogu u procesu oporavka. Neka od najčešćih neuroloških oboljenja i ozljeda su: moždani udar, multipla skleroza, Parkinsonova bolest i ozljede leđne moždine i mozga. Proces rehabilitacije svakog od ovih neuroloških problema zahtjeva preciznu dijagnostiku kako bi se odredilo u kojem je stadiju bolest, te o kakvim se oštećenjima radi. Neuroplastičnost je temelj na kojem se bazira suvremena neurorehabilitacija nakon oštećenja mozga, a odnosi se na sposobnost mozga da se reorganizira i uspostavi nove sinapse između neurona koji preuzimaju ulogu i funkcionalnost oštećenih dijelova tijela. S procesom rehabilitacije treba započeti što ranije, po stabilizaciji stanja pacijenta.

Robotska neurorehabilitacija koristi robotske i senzorne uređaje kojima je cilj pomagati u izvođenju terapije, te povećati i pojačati učinak terapije. Kombinira se tradicionalna terapija te robotski i računalno potpomognute tehnologije koje omogućuju pacijentu da postigne najbolje moguće rezultate. U procesu rehabilitacije koriste se razna robotska pomagala. Roboti se dijele na robote koji kontroliraju samo jedan dio uda i egzoskeletone koji upravljaju cijelim udom.

Neurorehabilitacija robotikom još je uvijek u procesu razvoja te je relativno nepoznat pojam u liječenju i rehabilitaciji neuroloških pacijenata, međutim ovakav vid liječenja i rehabilitacije pruža mogućnost oporavka pacijentima, koji zbog različitih neuroloških bolesti ili oštećenja imaju oslabljene ili potpuno onemogućene donje i gornje ekstremitete tijela.

Ključne riječi: neurorehabilitacija, robotika, fizioterapija



## Summary

Neurological complications resulting from neurological damage or injuries are quite common today, and people who suffer from or have recovered from brain damage face severe deficits that impair their quality of everyday life. The development of neurorehabilitation represents a new way of rehabilitating people with such problems and plays a key role in the recovery process. Some of the most common neurological diseases and injuries are: stroke, multiple sclerosis, Parkinson's disease and spinal cord and brain injuries. The rehabilitation process of each of these neurological problems requires precise diagnostics in order to determine the stage of the disease and the type of damage. Neuroplasticity is the foundation on which modern neurorehabilitation after brain damage is based, and it refers to the ability of the brain to reorganize and establish new synapses between neurons that take over the role and functionality of damaged parts of the body. The rehabilitation process should start as early as possible, after the patient's condition has stabilized.

Robotic neurorehabilitation uses robotic and sensory devices whose goal is to assist in the performance of therapy, and to increase and strengthen the effect of therapy. It combines traditional therapy with robotic and computer-assisted technologies that allow the patient to achieve the best possible results. Various robotic aids are used in the rehabilitation process. Robots are divided into robots that control only one part of the limb and exoskeletons that control the entire limb.

Neurorehabilitation with robotics is still in the process of development and is a relatively unknown concept in the treatment and rehabilitation of neurological patients, however this type of treatment and rehabilitation offers the possibility of recovery to patients who, due to various neurological diseases or damage, have weakened or completely disabled lower and upper extremities of the body.

Key words: neurorehabilitation, robotics, physiotherapy



## **Popis korištenih kratica**

**MMT**      manualni mišićni test

**EMG**      elektromiografija

# Sadržaj

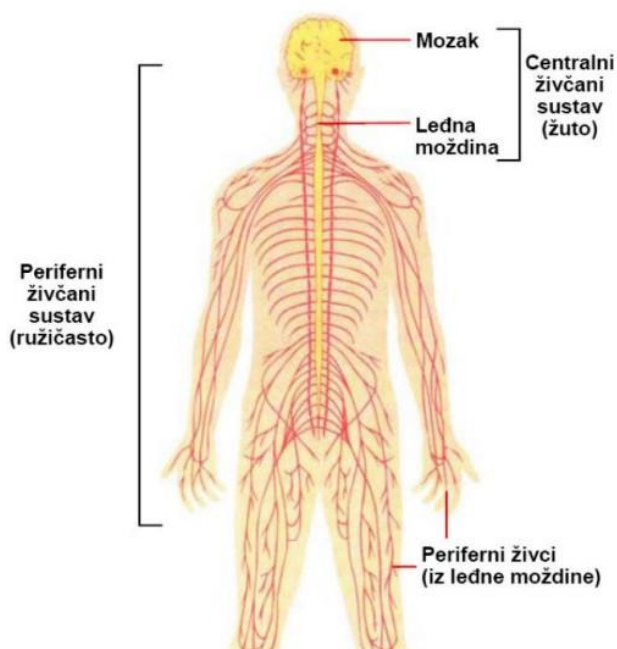
1.	Uvod.....	1
1.1.	Anatomija živčanog sustava.....	2
2.	Neurologija .....	6
2.1.	Neuroplastičnost.....	6
2.2.	Moždani udar.....	7
2.3.	Multipla skleroza.....	8
2.4.	Parkinsonova bolest.....	11
2.5.	Ozljede mozga i leđne moždine .....	12
3.	Robotika.....	15
3.1.	Robotska neurorehabilitacija gornjih ekstremiteta.....	15
3.1.1.	MIT Manus .....	16
3.1.2.	Braccio di Ferro .....	18
3.1.3.	ARMin III .....	19
3.1.4.	IntelliArm.....	22
3.2.	Robotska neurorehabilitacija donjih ekstremiteta .....	25
3.2.1.	Gait Trainer .....	25
3.2.2.	Hunova.....	27
3.2.3.	Lokomat .....	28
3.2.4.	HAL .....	32
3.3.	Prednosti i nedostaci robotske neurorehabilitacije.....	33
4.	Zaključak.....	35
5.	Literatura.....	36

# 1. Uvod

Neurorobotika je multidisciplinarno područje koje povezuje znanja iz područja neuroznanosti, inženjerstva i računarstva. Za proces rehabilitacije bitno je dobro poznavati građu i funkciju neurona, te koji je dio neurona zahvaćen određenom bolesti. Neurorehabilitacija uključuje poticanje vlastitih mehanizama oporavka koristeći neuroplastičnost, koja je temelj za uspjeh samog procesa rehabilitacije, a predstavlja sposobnost mozga da stvara nove živčane stanice i nove veze između postojećih neurona[1,2,3,4]. Najčešća oštećenja neurološkog sustava su: moždani udar, multipla skleroza, Parkinsonova bolest i ozljede mozga i leđne moždine. Svako navedeno oštećenje ima svoj specifičan proces nastanka, te specifične simptome. Rehabilitacijski proces kod moždanog udara za cilj ima vratiti sve oštećene funkcije koje su se dogodile pri nastanku moždanog udara. Kod multiple skleroze djeluje se specifično na simptome koji variraju od osobe do osobe, što ovisi o lokalizaciji demijelinizacijskih promjena, a kod Parkinsonove bolesti cilj je zadržavanje što je moguće veće funkcije kod osobe, te specifično djelovanje na simptome. Kod ozljeda mozga i leđne moždine svaka ozljeda ima svoje specifične karakteristike ovisno o mjestu nastanka ozljede, te stupnju oštećenja[5,6,7,8,9]. Robotska neurorehabilitacija osoba s takvim oštećenjima zahtjeva raznoliku primjenu, te specifikacije u rehabilitaciji svakog navedenog oštećenja. Robotika u neurorehabilitaciji je u fazi razvoja i inovacija. Iz dana u dan razvijaju se roboti koji imaju određenu ulogu u rehabilitaciji. Proces razvoja takvih robota je zahtjevan i dugotrajan. Osnovni princip neurorehabilitacije je utjecaj na proces motoričkog učenja davanjem dodatnih podražaja i informacija koji u uobičajenim okolnostima nisu na raspolaganju senzornom i motornom sustavu, dok je cilj neurorehabilitacije omogućiti aktivnu i intenzivnu izvedbu pokreta važnih kod izvođenja zadataka koji čine aktivnosti svakodnevnog života. Postoji veliki broj robota koji se koriste u rehabilitaciji bolesnika. Roboti su različito dizajnirani, s glavnim ciljem unaprjeđenja funkcije, a dijele se u dvije glavne skupine. Prva skupina su roboti koji kontroliraju samo jedan dio uda. Druga skupina su egzoskeletoni koji kontroliraju cijeli ud. Prvo su nastali roboti iz prve skupine jer su oni jednostavniji za izvedbu i za samu uporabu. Egzoskeletoni su kompleksniji jer upravljaju cijelim udom, te se sastoje od puno više zglobova, motora i senzora. Danas se roboti koji kontroliraju samo dio uda koriste kao dodatna implementacija na egzoskeletone jer egzoskeletoni upravljaju grubom motorikom cijelog uda, a roboti koji kontroliraju samo dio uda mogu se implementirati na šaku ili stopalo, te služiti za rehabilitaciju fine motorike. Roboti se dijele na robote za gornje i robote za donje ekstremitete[10,11,12].

## 1.1. Anatomija živčanog sustava

Živčani sustav čovjeka upravlja i nadzire brzim tjelesnim aktivnostima kao što su mišićne kontrakcije, visceralna zbivanja koja se naglo mijenjaju, te veličinama lučenja nekih endokrinih žlijezda. Živčani sustav dobiva milijune pojedinačnih informacija iz različitih organa i potom ih integrira kako bi odredio način na koji će tijelo reagirati[2].

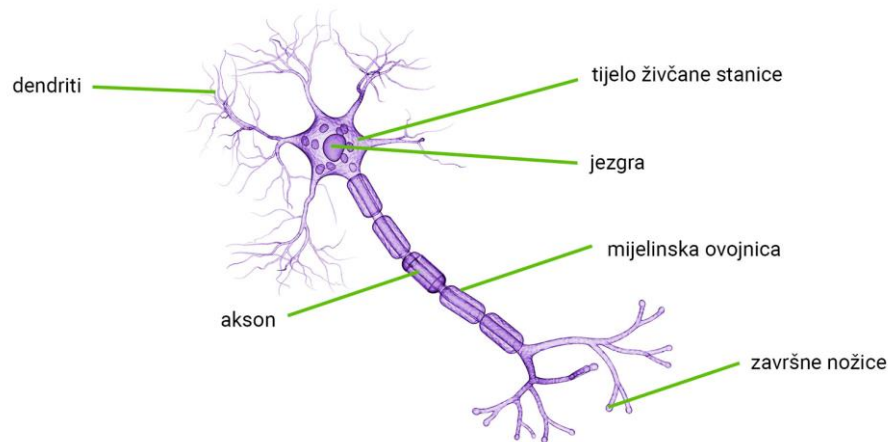


*Slika 1.1.1. Podjela živčanog sustava*

(izvor: A. Komljenović: Liječenje palijativnom radioterapijom metastaza u središnjem živčanom sustavu., SUR, 2020.)

Živčani sustav se dijeli na centralni živčani sustav kojeg čine mozak i leđna moždina, te na periferni živčani sustav kojeg čine periferni živci i gangliji.

Osnovna jedinica od koje je građen živčani sustav je neuron. Živčana stanica ili neuron je osnovna strukturna i funkcionalna jedinica živčanog tkiva koja ima sposobnost stvaranja i provođenja elektrokemijskih impulsa. Neuron je glavni i sastavni dio cjelokupnog živčanog sustava. Živčani sustav se sastoji od oko 6 milijardi međusobno povezanih neurona. Njihova uloga je prihvaćanje, prenošenje, obrađivanje i odašiljanje podataka, odnosno živčanih podražaja iz tijela i okolice[3]. Neuroni se dijele u tri skupine: senzorni, motorni i asocijacijski. Sensorni neuroni prenose impulse od receptora do određenog centra u središnjem živčanom sustavu. Motorni neuroni prenose impulse od centara u središnjem živčanom sustavu do efektoru. Asocijacijski neuroni nalaze se u središnjem živčanom sustavu te prenose impulse od senzornih do motornih neurona. Neuroni su građeni od tri osnovna dijela: tijelo koje je glavni dio stanice, jedan akson i dendriti[2].

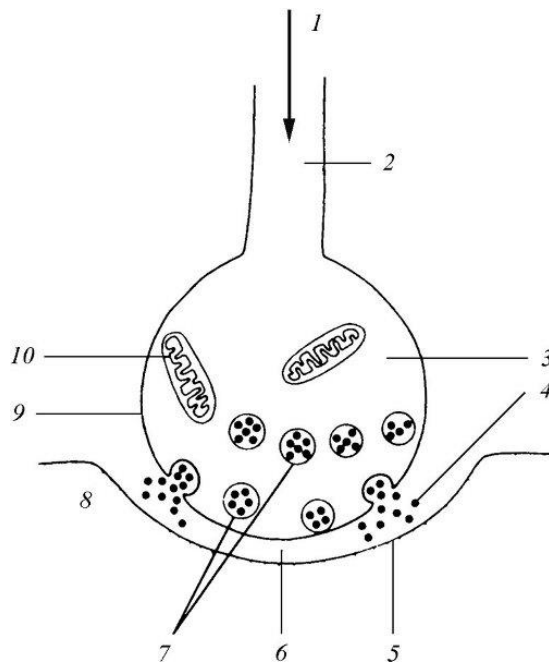


*Slika 1.1.2. Prikaz neurona i njegovih dijelova*

(izvor: <https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/3b8a4b4e-84b0-4580-aa6f-e38efe028ed9/biologija-8/m03/j01/index.html>)

Dendriti su produžetci neurona i primarno služe u recepciji impulsa, te zatim provode taj impuls do jezgre. Impulsi koji dolaze do dendrita su impulsi drugih neurona koji dolaze preko aksona. Akson služi za prenošenje impulsa. Mijelinska ovojnica je ovojnica koja služi za brz, ravnomjeran i efikasan prijenos impulsa kroz akson.

Na površini dendrita i tijela motoneurona nalazi se do 100 000 malih čvorića koji se nazivaju presinaptički završetci. Većina njih se nalazi na dendritima. Mnogi presinaptički završetci su ekscitacijski što znači da luče tvar koja ekscitira postsinaptički neuron, a drugi završetci su inhibicijski što znači da luče tvar koja inhibira neuron[2].



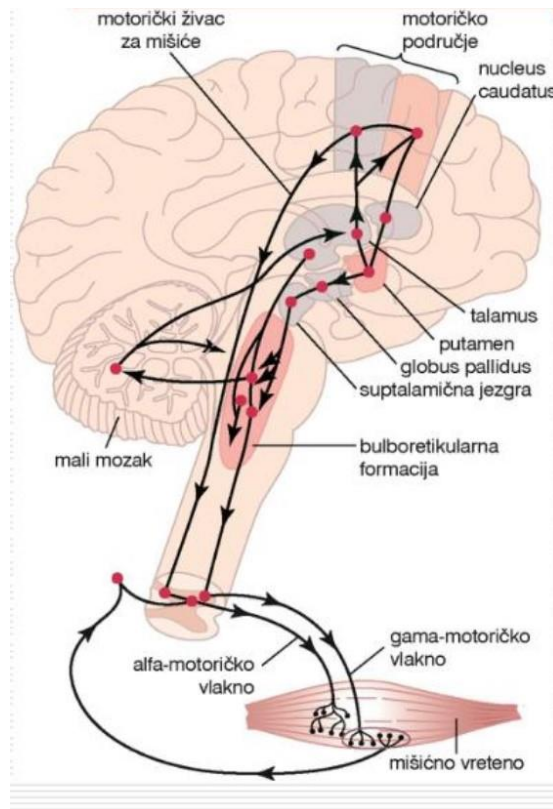
Slika 1.1.3. Prikaz sinapse

(izvor: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=56082> )

1 impuls koji putuje presinaptičkim aksonom, 2 presinaptički neuron, 3 sinaptički čvor koji u sebi sadržava molekule transmitera, 4 molekule transmitera, 5 postsinaptička membrana, 6 sinaptička pukotina, 7 vezikuli, 8 postsinaptički dendrit, 9 presinaptička membrana, 10 mitohondriji

Acetilolin je neurotransmiter kojeg luče neuroni u mnogim moždanim područjima, no specifično je lučenje u velikim piramidnim stanicama motoričke kore, za neurone u bazalnim ganglijima i za motoneurone koji inerviraju skeletne mišiće. Acetilolin većinom ima ekscitacijski učinak dok glicin, (koji se uglavnom luči u sinapsama kralježnične moždine) i Gama-aminomaslačna kiselina, (koja se luči na živčanim završecima u kralježničnoj moždini, malom mozgu i bazalnim ganglijima) uvijek ima inhibicijski učinak[2].





*Slika 1.1.4. Motorička os živčanog sustava*

(izvor: <https://www.slideserve.com/lauren/iv-ani-sustav-organizacija-i-osnovne-funkcije> )

Skeletne mišiće mogu nadzirati mnoge razine središnjeg živčanog sustava, među njima su: motorička kora, mali mozak, kralježnična moždina, bazalni gangliji, retikularna supstancija produžene moždine, ponsa i mezencefalona. Svako navedeno područje ima svoju specifičnu ulogu u nadziranju pokreta tijela. Viša područja se prvenstveno bave nadgledanjem smišljenih pokreta, a niži dijelovi odnose se na automatske, trenutačne reakcije tijela na osjetne podražaje[2].

## 2. Neurologija

Neurologija je grana medicine koja se bavi proučavanjem bolesti živčanog sustava i proučava bolesti kod kojih dolazi do oštećenja neurona. Liječenje neuroloških bolesti je dugotrajno i kompleksno te obuhvaća farmakoterapiju i rehabilitaciju kao i prilagodbu osobe na nove životne uvjete. Rehabilitaciju treba započeti nakon stabilizacije akutnog stanja s ciljem da se što prije vrati u aktivnosti svakodnevnog života. Ovisno o neurološkom problemu potrebna je specifična medicinska intervencija. Svaki neurološki problem ima svoj poseban proces rehabilitacije. Neki od najčešćih neuroloških problema su: moždani udar, ozljede mozga, multipla skleroza, Parkinsonova bolest i ozljede leđne moždine [4].

Ovisno o mjestu nastanka moždanog udara ili ozljeda leđne moždine i mozga neurološka oštećenja će biti drukčija. Kod bolesti kao što su multipla skleroza ili Parkinsonova bolest određen mehanizam nastanka nije poznat, no poznato je do čega dovodi progresija bolesti i na što treba obraćati pozornost. Prema samom stanju pacijenta određuje se postupak rehabilitacije. Sam proces rehabilitacije može biti vraćanje na normalnu funkciju osobe ili proces usporavanja progresije bolesti i održavanja funkcionalnih sposobnosti osobe.

Nakon oštećenja samog neurona ili više njih dolazi do propadanja prijenosa signala između tih neurona. Zbog toga se gubi prijenos signala od mozga do neurona koji su zaslužni za aktiviranje određenih mišića. Problem može biti u mozgu, leđnoj moždini ili kod samog mišića[4].

### 2.1. Neuroplastičnost

Pojam „neuroplastičnost“ dolazi od grčke riječi „plastos“ a znači prilagodljiv. Neuroplastičnost se može definirati kao sposobnost mozga da se reorganizira, promjeni i prepravi s ciljem bolje prilagodbe na nove situacije. Koncept neuroplastičnosti jedan je od najvažnijih otkrića u neuroznanosti[5].

Proces rehabilitacije oštećenja je moguć zbog pojma neuroplastičnosti. Neuroplastičnost označava promjene u strukturi neurona ili njegovoj funkciji. U fizioterapiji se može opisati kao neuronski mehanizam motornog oporavka koji se događa zbog fizioterapeutske intervencije.

Svaki određeni pokret ili kombinacija pokreta ljudskog tijela ima svoj određeni put od mozga do samih mišića koji izvode taj pokret. Pri nastanku oštećenja taj put impulsa je prekinut bilo to u mozgu, leđnoj moždini ili uz mišić. Procesom rehabilitacije ciljevi nam mogu biti pokušaji aktivacije tih istih neuronskih puteva ili stvaranje novih neuronskih puteva koji će imati istu ulogu kao oni prethodni.

Promjene koje dovode do oporavka mogu se prikazati na pojedinačnom neuronu. Primjeri neuroplastičnosti su povećanje grananja dendrita, povećanje gustoće završetaka dendrita i povećanje broja sinapsi. Takve promjene omogućuju stvaranje novih neuronskih veza sa zdravim neuronima, te tako stvaranja novih neuronskih putova. Do ovih promjena i adaptacija na neuronima dolazi zbog raznih vanjskih i unutarnjih čimbenika. Neki od njih su: centralna i periferna stimulacija, trening ponašanja, farmakologija i motorno učenje.

U procesu rehabilitacije potrebno je analizirati koje pokrete osoba može izvesti, a koje ne. Pokrete koje osoba ne može izvesti, a prije oštećenja ili bolesti je mogla, potrebno je rehabilitirati. Poticanjem na izvođenje tih pokreta, izvođenje potpomognutog pokreta, davanjem periferne stimulacije na određeni dio tijela koji je oštećen, dobivamo aktivaciju neuronskog mehanizma motornog oporavka. Tijekom vremena u procesu rehabilitacije neuroni će postepeno graditi nove veze, te će se tako osobi malo po malo vraćati izgubljena funkcija. Te promjene potrebno je pratiti iz terapije u terapiju i adaptirati načine rehabilitacije kako bi što više poticali ovakav način oporavka[4].

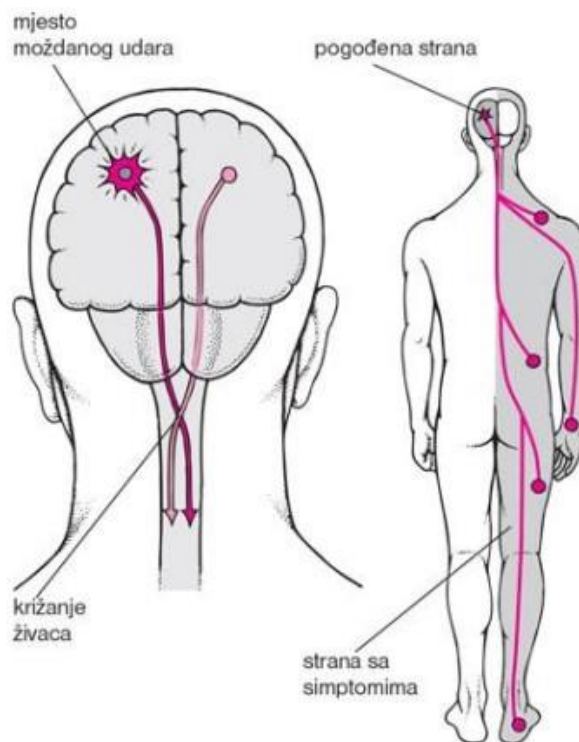
## **2.2. Moždani udar**

Moždani udar treći je po redu najčešći uzrok smrti u svijetu i jedan od glavnih uzročnika nastanka invaliditeta. Incidencija kod osoba starijih od 55 godina varira između 4.2 i 6.5 na 1000 stanovnika godišnje. Glavna metoda dijagnosticiranja moždanog udara je opsežan neurološki pregled[2]. Svjetska zdravstvena organizacija definira moždani udar kao naglo nastali fokalni deficit koji traje duže od 24 sata ili dovodi do smrti, a uzrok je cerebrovaskularna bolest. Moždani udar se prema mehanizmu nastanka dijeli na hemoragijski moždani udar, ishemijski moždani udar, te subarahnoidalno krvarenje. Ishemijski moždani udari čine oko 85% svih moždanih udara, hemoragijski moždani udari čine oko 10%, te subarahnoidalno krvarenje čini oko 5%[6].

Moždani udar je oštećenje gornjeg motoneurona, te dovodi do pojave specifičnih skupova znakova i simptoma. Javlja se plegija ili pareza kontralateralne skupine mišića. Osobama se često javlja atrofija mišića zbog same nemogućnosti aktivnog pokreta.

Na slici 2.2.1. prikazan je odnos mjesta nastanka moždanog udara i strane tijela koja pokazuje simptome. Prikazano je kako dolazi do pojave simptoma na suprotnoj strani tijela zbog križanja živaca u vratnoj kralježnici. Ako je zahvaćena lijeva strana mozga simptomi će se pojavljivati na desnoj strani tijela, a ako je zahvaćena desna strana mozga simptomi će se pojavljivati na lijevoj strani tijela.

Ovisno o stupnja i mjestu oštećenja javlja se plegija ili pareza jedne strane tijela. Plegija označava potpuni gubitak funkcije u određenom mišiću, a pareza djelomičan gubitak funkcije u određenom mišiću [6].



Slika 2.2.1. Mjesto moždanog udara i dio tijela sa simptomima

(Izvor: <http://www.msd-prirucnici.placebo.hr/msd-za-pacijente/bolesti-mozga-i-zivcanog-sustava/mozdani-udar-i-srodni-poremecaji/mozdani-udar>)

Pacijenti s hemiplegijom u akutnoj fazi imaju flacidnu centralnu kljenut. To označava snižen tonus uslijed spinalnog šoka. U kasnijoj fazi dolazi do spazma zbog neravnoteže inhibicijskih i ekscitacijskih centara retikularnoj formaciji moždanog debla.

Kod rehabilitacije osoba s moždanim udarom potreban je multidisciplinarni pristup, korištenje znanja o neuroplastičnosti mozga, te znanje o facilitaciji funkcija. Kroz rehabilitaciju potrebno je točno odrediti koja su oštećenja i što ona predstavljaju za funkciju u svakodnevnom životu te osobe. Vrlo je bitno postavljanje kratkoročnih i dugoročnih ciljeva u procesu rehabilitacije, te davanje realne prognoze samoj osobi[6].

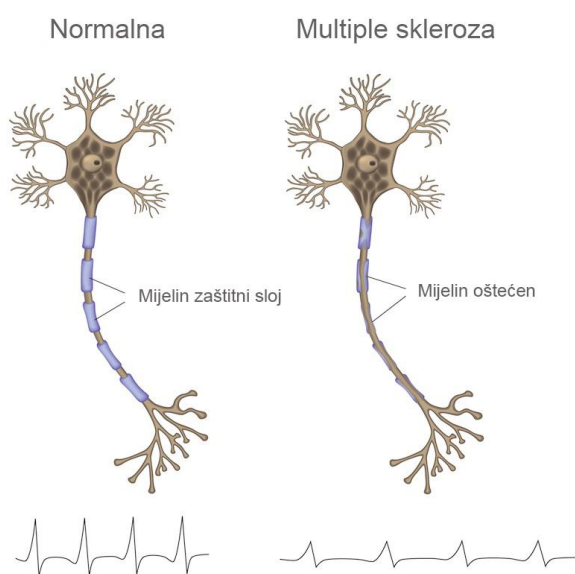
### 2.3. Multipla skleroza

Multipla skleroza je demijelinizacijska upalna bolest središnjeg živčanog sustava. Glavna manifestacija multiple skleroze je nastanak skleroza (plakova, lezija) u središnjem živčanom sustavu koje su rezultat gubitka mijelinske ovojnice i samih oštećenja aksona. Javlja se s

učestalosti 1/1000 ljudi, kod žena se javlja dvaput češće nego kod muškaraca. Dob zahvaćene populacije je između dvadesete i četrdesetpete godine života[7].

Simptomi same bolesti su promjenjivi i variraju od osobe do osobe, sve ovisi koji je dio središnjeg živčanog sustava zahvaćen i u kojem je stadiju bolest. Zbog same nepredvidljivosti bolesti za nju kažu da je bolest s tisuću lica. Neki od simptoma koji se javljaju u početku su: osjećaj slabljenja vida, prisutnost dvoslika, smanjena snaga u udovima, smetnje osjeta, poremećaj ravnoteže, problemi sfinktera i vrtoglavica. Osim navedenih problema dosta česte su i psihičke smetnje, te je zbog toga vrlo bitna edukacija pacijenta i njegove obitelji. Također kod pacijenata postoje i kognitivne smetnje koje su vrlo česte, neke od njih su: poremećaji pažnje, poremećaji pamćenja i koncentracije, sporije izgovaranje riječi. Zbog svih navedenih mogućih problema iznimno je bitno imati dobar pristup prema pacijentu.

Procjenjuje se da multipla skleroza skraćuje očekivanu životnu dob za otprilike deset godina. Razvoj simptoma se razlikuje od osobe do osobe. Uzrok samog nastanka bolesti nije poznat no smatra se da bolest nastaje zbog više čimbenika: izloženost virusu/ima u djetinjstvu, genetska predispozicija i okolina[7].



Slika 2.3.1. Usporedba zdravog neurona i neurona zahvaćenog multiplom sklerozom

(Izvor: <https://hendiportal.com/kategorija/kutak-znanja/multipla-skleroza/page/2/>)

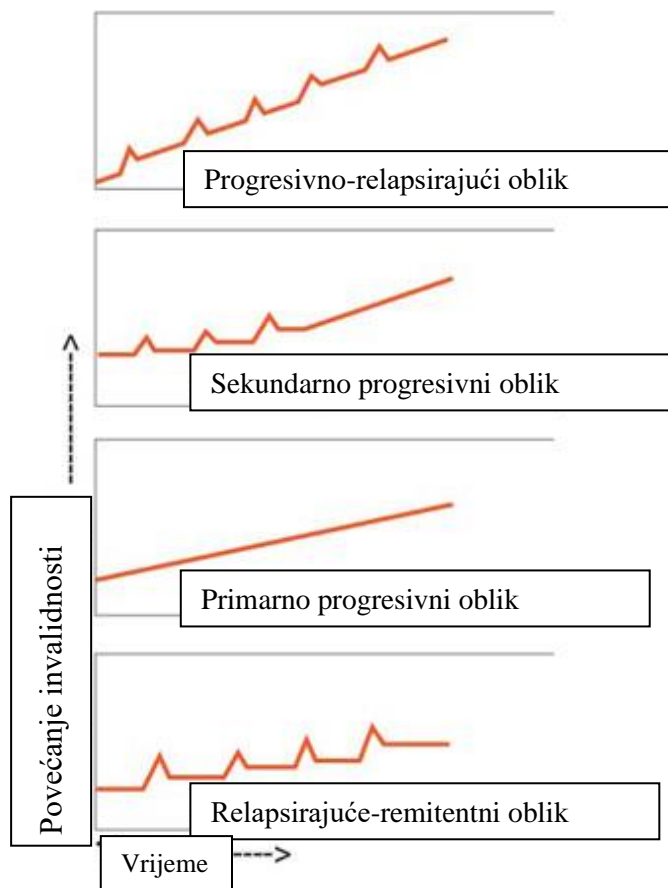
Postoje 4 vrste progresije multiple skleroze: relapsirajuće-remitentni oblik, sekundarno progresivni oblik, primarno progresivni oblik i progresivno-relapsirajući oblik.

Relapsirajuće-remitentni oblik karakteriziran je akutnim napadima s novim simptomima, te se povlači bez posljedica. Bolest iz ovog stadija može prijeći u sekundarni oblik.

Sekundarno progresivni oblik karakterizira što nakon faze pogoršanja ne dolazi do oporavka nego oštećenja postaju sve veća i teža.

Primarno progresivni oblik za razliku od sekundarno progresivnog oblika nema faze pogoršanja već bolest ima konstantnu progresiju gubitka funkcije.

Progresivno-relapsirajući oblik karakterizira progresivno pogoršanje od samog početka bolesti, ali još uvijek ima akutna pogoršanja s ili bez povratka na stupanj prije remisije[8].



Slika 2.3.2. Četiri vrste progresije multiple skleroze

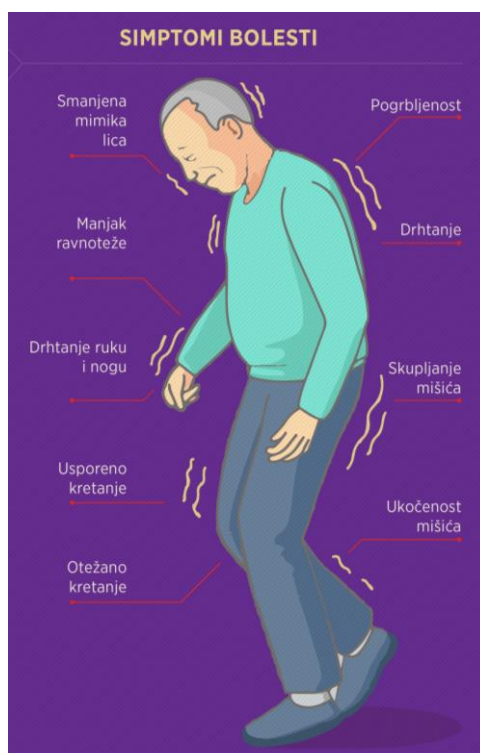
(Izvor: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ms\\_progression\\_types.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ms_progression_types.svg) )

Rehabilitacija kod multiple skleroze je iznimno bitna jer joj je cilj održati ili poboljšati funkcijsko stanje osobe usprkos oštećenjima. Pri rehabilitaciji pomaže se osobi da riješi određene psihološke, socijalne i obiteljske probleme. Uz te navedene probleme iznimno je bitno naučiti i rehabilitirati funkcije svakodnevnog života kod osobe kako bi ona mogla funkcionirati što samostalnije. Stanje osobe se vrlo brzo mijenja, te je potrebno sudjelovanje osobe u procesu rehabilitacije kako bi se što kvalitetnije obavljao proces. Ciljevi rehabilitacije moraju biti realni. Ako su ciljevi previsoki, te pacijent uvidi da ti ciljevi nisu realni može doći do fizičkog i psihičkog pogoršanja, a s druge strane ako su preniski pacijent neće biti motiviran[8].

## 2.4. Parkinsonova bolest

Parkinsonova bolest druga je po redu najčešća kronično progresivna neurodegenerativna bolest nakon Alzheimerove bolesti. Ova bolest zahvaća oko 1.5% ljudi u dobi od 60 godina, a u dobi od 80 i više godina zahvaća 3% ljudi. Parkinsonova bolest zahvaća i mlađu populaciju ali puno rjeđe. Muškarci obolijevaju 1.5 puta više nego žene.

Uzrok samog nastanka bolesti još uvijek nije poznat. Smatra se da važan utjecaj imaju genetski i okolišni čimbenici. Traume glave imaju veliku ulogu u razvoju bolesti, ljudi koji su imali barem jednu traumu glave imaju četiri puta veći rizik za razvoj bolesti od ljudi koji nisu imali traumu glave. Simptomi se razlikuju od osobe do osobe[9]. Na slici 2.4.1. prikazani su neki od simptoma.



Slika 2.4.1. Prikaz simptoma Parkinsonove bolesti

(Izvor: <https://www.aa.com.tr/ba/analiza-vijesti/infografika-%C5%A1irom-svijeta-vi%C5%A1e-od-sedam-miliona-oboljelih-od-parkinsonove-bolesti/1114018> )

Za dijagnosticiranje Parkinsonove bolesti potrebni kriteriji su: bradikineza (teško započinjanje kretnji, usporenost u izvođenju kretnji, smanjena brzina ili amplituda kretnji) i uz to barem još jedan kriterij: tremor u mirovanju, povišen tonus prema tipu rigora u izvođenju pasivnog pokreta.

Uz motoričke smetnje postoje i nemotorički simptomi Parkinsonove bolesti. Oni nastaju godinama prije motoričkih smetnji. Tijekom bolesti ti simptomi postaju sve gori i gori, te tako

narušavaju kvalitetu života osobe više od motoričkih simptoma. Neki od tih simptoma su: depresija, anksioznost, smetnje spavanja, smetnje mirisa i konstipacija u prodromalnoj fazi bolesti, demencija, bol, erektilna disfunkcija, halucinacije, gastro-intestinalne smetnje, umor.

Terapija kod Parkinsonove bolesti primarno se vodi farmakološki, prvo s jednim lijekom, a kako napreduje uvode se i drugi lijekovi. Terapija je zbog ne poznavanja uzročnika usmjerena na što je moguće bolju kontrolu simptoma i održavanje ili poboljšanje kvalitete života. Fizioterapeuti imaju ulogu u održavanju funkcija potrebnih za svakodnevni život, ovisno o simptomima koji se javljaju stvoriti plan terapije kako bi se oni minimizirali[9].

## 2.5. Ozljede mozga i leđne moždine

Svaka ozljeda mozga i leđne moždine manifestira se ovisno o mjestu ozljede i razini oštećenja. Glavni uzroci ozljeda mozga i leđne moždine su prometne nesreće i padovi. U tablici 2.5.1. prikazane su razine ozljede kralježnice i na što te ozljede utječu[10].

Tablica 2.5.1. Prikaz razine i utjecaja ozljede kralježnice

(izvor: [https://hupt.hr/wp-content/uploads/Publikacije/Kako\\_dalje\\_2017\\_web.pdf](https://hupt.hr/wp-content/uploads/Publikacije/Kako_dalje_2017_web.pdf) )

Razina ozljede kralježnice	Utjecaj ozljede
C1 do C5	Tetraplegija, nema motoričkih funkcija od vrata na niže
C5 do C6	Paraliza nogu, trupa, ruku i šaka, aktivnost u mišićima ramena i lakta
C6 do C7	Paraliza nogu, dijelova ručnog zgloba i šake, očuvane funkcije ramena i fleksija lakta
C8 do T1	Paraliza nogu, trupa i šaka, ruke relativno sačuvane
T2 do T4	Paraliza nogu i trupa, gubitak osjeta ispod bradavica
T5 do T8	Paraliza nogu, gubitak osjeta ispod prsnog koša
T9 do T11	Paraliza nogu, gubitak osjeta ispod pupka
T12 do L1	Paraliza i gubitak osjeta ispod prepona
L2 do S2	Različite slike slabosti i neosjetljivosti nogu
S3 do S5	Gubitak kontrole nad mokraćnim mjehurom i stolicom

Kod osoba s ozljedom kralježnice karakteristično je da što je ozljeda više kranijalno pozicionirana to su oštećenja veća. Ovisno o svakoj od tih razina ozljede specifično se manifestiraju gubitci funkcija na koje treba specifično djelovati.



Uz samu razinu ozljede vrlo je bitan i stupanj oštećenja. Stupanj oštećenja kralježnične moždine određuje se AIS ljestvicom. Uz AIS ljestvicu koristi se i manualni mišićni test (MMT) za procjenu jačine mišića. U tablici 2.5.2 vidimo AIS ljestvicu[10]

Tablica 2.5.2. Prikaz AIS ljestvice

(Izvor:Schnurrer L., Vrbanić T, Moslavac S, Džidić I. Rehabilitacija bolesnika s ozljedom kralježnične moždine, 2012..)

AIS A	Potpuni gubitak motorne funkcije i osjeta
AIS B	Djelomično očuvanje osjeta, gubitak motorne funkcije
AIS C	Djelomično očuvanje osjeta, dijelom očuvana motorna funkcija, MMT ocjena manja od 3/5
AIS D	Osjet je očuvan, motorna funkcija očuvana, MMT ocjena 3/5 ili više
AIS E	Osjet i motorna funkcija su očuvane i normalne, promjene u refleksnim odgovorima

Manualni mišićni test daje ocjenu snage mišića od 0 do 5.

Ocjena 0 - nema mišićne aktivnost u pojedinom mišiću koji testiramo

Ocjena 1 - ima mišićne aktivnosti ali nema pokreta

Ocjena 2 – mišić je sposoban obaviti kontrakciju i pokret ali bez sile gravitacije

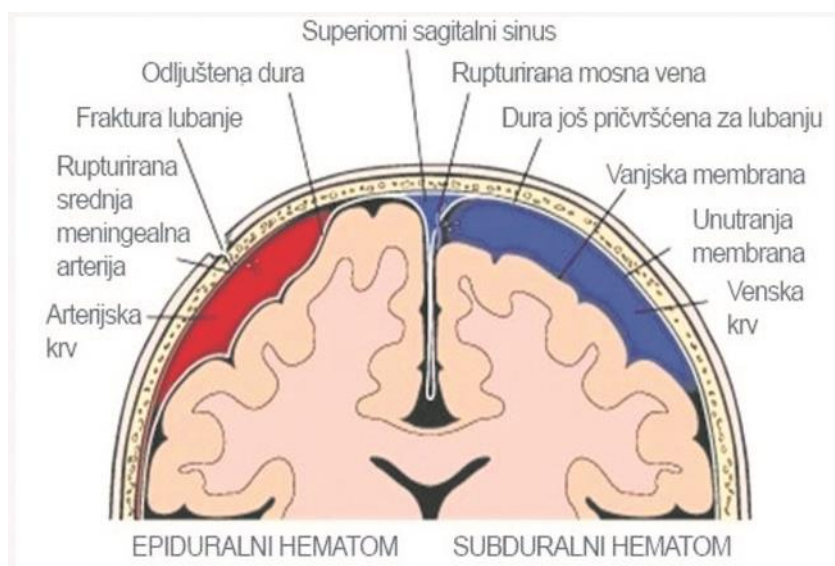
Ocjena 3 - mišić vrši kontrakciju i obavlja pokret uz djelovanje sile gravitacije

Ocjena 4 - mišić vrši kontrakciju i obavlja pokret uz dodatan blagi otpor

Ocjena 5 - mišić vrši kontrakciju i obavlja pokret uz dodatan veliki otpor (puna snaga mišića)

Ozljede mozga dijele se na primarne i sekundarne. Primarne traumatske ozljede mozga čine ozljede moždanog parenhima, a posljedica su rotacijskih djelovanja i akceleracijsko-deceleracijskih djelovanja sila na mozak. Rezultat takvih ozljeda su kontuzije mozga i difuzne aksonalne ozljede, te mogu biti praćene pomicanjem intrakranijalnog sadržaja i prijelomima lubanje.

Sekundarne ozljede mozga posljedica su staničnih, biokemijskih i molekularnih promjena koje izazivaju: 1. ekscitotoksičnost, ishemiju, oštećenje procesa stvaranja energije, te posljedično smrt stanice, 2. sekundarni edem mozga, 3. upalna oštećenja mozga, 4. sekundarne aksonalne ozljede[10].



*Slika 2.5.1. Prikaz ozljeda mozga*

(Izvor: <https://www.7dnevno.hr/zdravlje/padovi-najcesci-i-zajednicki-uzroci-ozljeda-glave-i-mozdanog-tkiva/>)

Rehabilitacija osoba s ozljedama mozga i leđne moždine bazira se na određivanju stupanja oštećenja i što možemo očekivati od očuvanih funkcija. Na temelju očuvanih funkcija postavljamo ciljeve rehabilitacije koji moraju biti realni. Ako osobu ne možemo rehabilitirati u potpunosti zbog razine i jačine ozljede potrebno je osobu educirati kako funkcionirati u svakodnevnom životu uz ta oštećenja. Glavni ciljevi su ostvarivanje što je moguće veće samostalnosti u obavljanju aktivnosti svakodnevnog života kroz adaptacije pacijenta na njegove dostupne funkcije. Edukacija osobe o postojećim pomagalima koja pomažu u obavljanju aktivnosti svakodnevnog života izuzetno je važna kao i edukacija obitelji o preostalim sposobnostima i mogućnostima ozljeđene osobe, te kako im olakšati aktivnosti kod kuće[10].

### **3. Robotika**

Robotika se u procesu neurorehabilitacije primarno dijeli u dvije skupine: skupina pomoćne tehnologije i skupina terapijske tehnologije. Skupina pomoćne tehnologije još se dijeli na robotske pomoćnike, proteze i ortoze, a u skupinu terapijske tehnologije spadaju terapijski roboti.

Robotski pomoćnici pomažu osobama u obavljanju aktivnosti svakodnevnog života. Proteze nadomještaju funkciju određenog uda, ortoze sprječavaju ili pomažu u izvođenju određenog pokreta u paraliziranim ili oslabljenim udovima. Terapijski roboti sudjeluju u terapiji i evaluaciji pacijentova napretka, unapređuju i pomažu u samom pokretu pacijenta. Dijele se u dvije skupine: egzoskeletni roboti i roboti koji aktiviraju jedan dio uda[11].

Roboti koji kontroliraju samo jedan dio ekstremiteta ne kontroliraju cijeli kinetički lanac nego samo taj dio uda. Ostali dijelovi tog uda se slobodno kreću u prostoru, i najčešće prilagođavaju pokretima robota ili nekim drugim vanjskim utjecajima. Ovakvi roboti se često koriste kod osoba čija su oštećenja mala ili su pri kraju procesa rehabilitacije, te im je potrebna rehabilitacija fine motorike određenog uda.

Egzoskeletoni kontroliraju cijeli ud, a ne samo njegov dio. Reproduciraju cijeli kinetički pokret određenog uda i podupiru njegove pokrete kroz kontrolu i orijentaciju svakog zgloba. Egzoskeletonima možemo dobiti puno bolji uvid u pokrete, te imamo bolju kontrolu samoga uda, ali su znatno kompleksniji za samo kontroliranje pokreta i određivanje stupnja slobode pacijenta. Egzoskeletoni se koriste kod osoba s većim stupnjem oštećenja jer oni imaju kontrolu cijeloga uda, te se može odrediti pravilan položaj i putanja izvođenja cjelokupnog pokreta. Kod većine egzoskeletona su implementirani i dijagnostički moduli kojima pacijent i fizioterapeut dobivaju povratne informacije o procesu same rehabilitacije[12].

#### **3.1. Robotska neurorehabilitacija gornjih ekstremiteta**

Razvijeno je mnogo vrsta robota za rehabilitaciju gornjih ekstremiteta. Svaki robot ima svoju određenu funkciju, te je namijenjen za izvođenje specifičnih pokreta. Ovisno o neurološkom oštećenju pacijenta i samom stupnju oštećenja jedan robot bi mogao biti značajno korisniji u rehabilitaciji nego drugi.

Odabir robota za rehabilitaciju mora uzimati u obzir točno o kakvom se oštećenju radi, koje funkcije su aktivne, koje funkcije nedostaju. Nakon dobrog procesa dijagnostike može se odrediti koji bi robot bio najprikladniji za tu osobu.

Ako osoba ima teško tjelesno oštećenje, te ima vrlo malo očuvane senzomotoričke funkcije ekstremiteta egzoskeletoni bi bili prikladniji za korištenje jer oni mogu kontrolirati sile koje utječu na sve zglobove ekstremiteta za razliku od robota koji kontroliraju samo određeni dio ekstremiteta.

Kod pacijenata koji imaju sačuvane senzomotoričke funkcije prikladnije je koristiti robote koji kontroliraju samo jedan dio ekstremiteta kako bi se dodatno razvila fina motorika i neki specifični pokreti potrebni za funkciju kod te osobe[12].

### **3.1.1. MIT Manus**

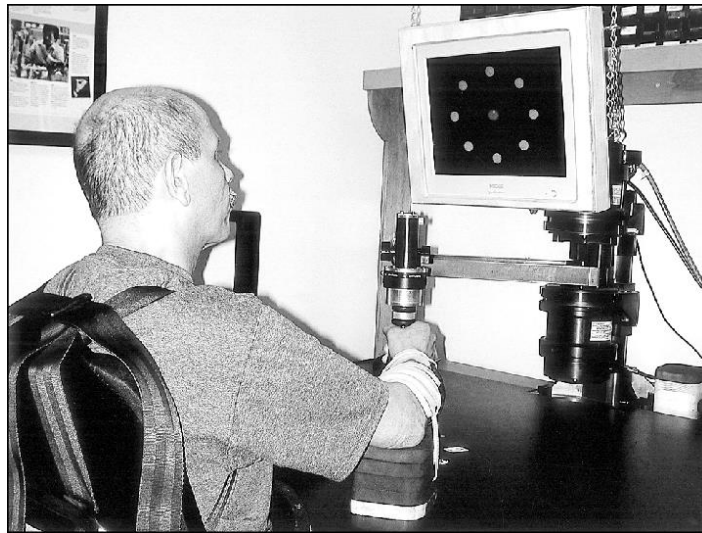
Jedan od prvih robota koji kontrolira distalni dio gornjih ekstremiteta je MIT Manus. MIT Manus spada u skupinu segmentnih robota za neurorehabilitaciju gornjih ekstremiteta. Projekt MIT-MANUS krenuo je 1989. godine, te je robot u funkciji od 1994. godine.

Robot pruža dva stupnja slobode za pokrete u zglobovima šake i lakta. Postavljen je senzor sile sa šest stupnjeva slobode kako bi se povratno mogli pratiti smjer i sila svakog pokreta. Povratni podatci pomažu u procesu rehabilitacije kako bi terapeut mogao vidjeti koliko sile osoba koristi u izvođenju pokreta[13].

Ako je sila izvođenja pokreta adekvatna znači da je pacijent savladao taj pokret, a ako nije adekvatna prati se progresija sile tog pokreta. Samo uz aktivno sudjelovanje pacijenta može se aktivirati pomoć robota pri izvođenju pokreta kako bi se došlo do pravilnog izvođenja pokreta.

Robot je sastavljen tako da imitira izgled i položaj ljudske ruke kao da se pacijent koji izvodi terapiju rukuje s robotom. Umjesto ruke s kojom bi se pacijent rukovao implementirana je cijev koju pacijent prima šakom kao da prima bočicu vode. Takav dizajn omogućuje da pacijent može izvesti pokrete u zglobu šake, laktu i ramenu. Početni položaj pacijenta koji koristi robota je blaga antefleksija u ramenu, blaga fleksija u laktu, neutralan položaj šake i fleksijski položaj prstiju.

Pacijentu se zada određeni zadatak koji mora obaviti na monitoru, te on sam pokušava izvesti određene pokrete koji imaju specifičan cilj. Kada pacijent ne može u potpunosti izvesti pokret robot sam izvodi željenu amplitudu pokreta koja je potrebna da se dosegne određeni cilj. Tako dobivamo potpomognuti pokret koji je iznimno bitan za proces rehabilitacije neuroloških pacijenata. Robot omogućuje pasivne, aktivne i aktivno potpomognute pokrete.[13].



*Slika 3.1.1.1. Prikaz uporabe MIT Manus robota*

(Izvor: [https://www.researchgate.net/figure/MIT-Manus-upper-extremity-robotic-device-Note-the-patients-forearm-wrist-and-hand\\_fig1\\_11321978](https://www.researchgate.net/figure/MIT-Manus-upper-extremity-robotic-device-Note-the-patients-forearm-wrist-and-hand_fig1_11321978) )

Na slici 3.1.1.1. vidimo prikaz MIT Manus robota i pacijenta koji je u procesu terapije. Pacijent je fiksiran za sjedalo kako ne bi došlo do izvođenja trik-pokreta prilikom terapije. Lakat je postavljen na nekoliko podložaka koji klize po podlozi zbog visine same ruke robota. Pacijent šakom obuhvaća dršku ruke robota te pokušava odraditi zadatak koji mu je zadan na monitoru (pokušava iz točke u sredini monitora pomoću robotske drške doći do okolnih točaka u krugu. Pokreti koje dobivamo su fleksija i ekstenzija u laktu i šaci, antefleksija i retrofleksija u ramenu, abdukcija i adukcija nadlaktice)[13].

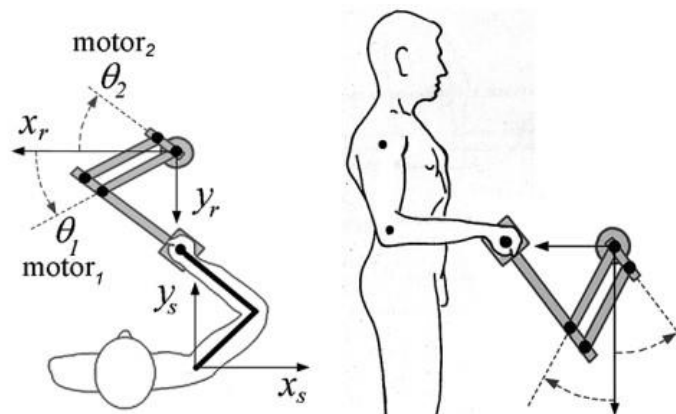
Nedostatak rehabilitacije na ovakvom robotu je mogućnost izvođenja pokreta samo u dvije dimenzije, a zna se da se svi pokreti koji su potrebni pacijentu za izvođenje aktivnosti svakodnevnog života izvode u tri dimenzije. Prsti na šaci su tijekom cijelog trajanja terapije u fleksijskom položaju što može dovesti do kontraktura i atrofije ekstenzora šake.

Ovakav robot prikladan je za korištenje kod pacijenata s moždanim udarom, ozljedama mozga i cerebralnom paralizom. Uporaba robota je korisna ovisno o samoj težini i stadiju navedenih bolesti i ozljeda. Prikladnija bi bila terapija s pacijentima kojima je potrebno usavršavanje fine motorike i specifičnih pokreta ruke. Svaka od navedenih dijagnoza može imati svoje zasebne vježbe i zadatke ovisno o kakvoj se ozljedi radi i što je potrebno za rehabilitaciju osobe[12].

### 3.1.2. Braccio di Ferro

Jedan od robota koji se koristi u svrhu rehabilitacije pokreta u laktu i ramenu je Braccio di Ferro. Ovaj robot spada u skupinu segmentnih robota za neurorehabilitaciju gornjih ekstremiteta. Uz robot koristi se i monitor na kojem su prikazani određeni zadatci koje pacijent mora izvršiti.

Dizajn robota slični dizajnu MIT Manus robota. Robot oponaša izgled ljudske ruke, te je na kraju implementirana šipka koju pacijent drži isto kao da drži bočicu vode. Robot ima senzore koji služe za registriranje sile, pozicije i brzine izvođenja pokreta. Također ima mogućnost prenošenja sile pri kontaktu s nekim predmetom koji je virtualan. Dizajneri robota opisuju taj osjećaj kao da pacijent dodiruje određeni virtualni predmet s kratkim štapom, što je vrlo korisno u procesu rehabilitacije[14].



Slika 3.1.2.1. Prikaz Braccio di Ferro robota

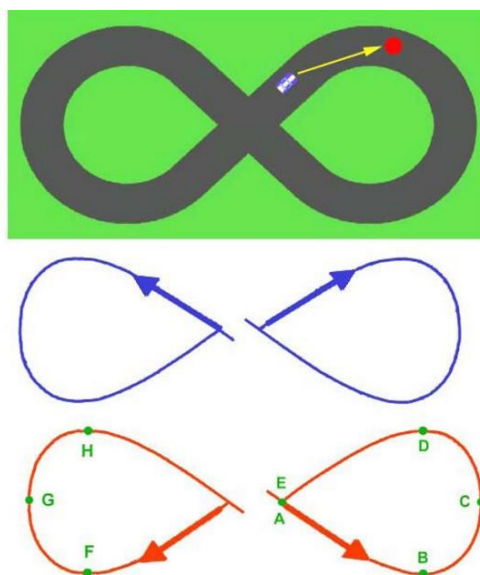
(Izvor: M. Casadio i suradnici: A new haptic workstation for neuromotor rehabilitation, Technology and Health Care 14, str. 123-142, 2006.)

Na slici 3.1.2.1. vidimo prikaz pozicije pacijenta za uporabu robota. Postoje dvije opcije ovisno o tome što nam je potrebno za proces rehabilitacije.

Na slici lijevo prikazano je kako pacijent drži ruku robota te izvodi pokrete u horizontalnoj ravnini. Pokreti koje možemo takvom pozicijom dobiti su horizontalna abdukcija i adukcija nadlaktice, fleksija i ekstenzija podlaktice i šake.

Na slici desno vidimo kako pacijent drži ruku robota te izvodi pokrete u sagitalnoj ravnini. Mogući pokreti u takvoj poziciji su antefleksija i retrofleksija u ramenu, fleksija i ekstenzija u laktu i šaci.

Jedan od mogućih virtualnih zadataka koje pacijent obavlja je praćenje crvene točke koja putuje po virtualnom putu koji je u obliku broja 8. Koriste se dva smjera izvođenja pokreta.



*Slika 3.1.2.2. Prikaz virtualnog zadatka*

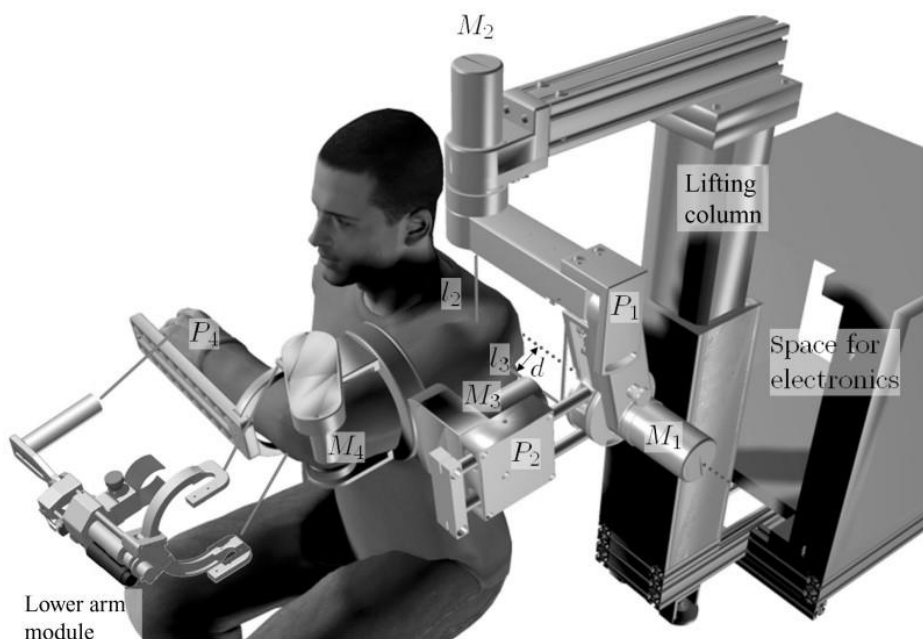
(Izvor: E. Vergaro i suradnici: Self-adaptive robot training of stroke survivors for continuous tracking movements, Journal of neuroengineering and rehabilitation, 2010.)

Točke od A do H prikazane na slici 3.1.2.2. prikazuju točke kontrole gdje se evaluira i prati točnost izvođenja pokreta pacijenta. Prilikom praćenja točnosti kroz proces rehabilitacije možemo dobiti informacije dali pacijent napreduje i u kojim točno dijelovima obavljanja pokreta ima poteškoće. Kada znamo gdje točno pacijent ima poteškoće u vježbi koja je gore navedena možemo odrediti koji mišići se u tom trenutku aktiviraju, a koji ne te nam to govori gdje se treba posvetiti više vremena u procesu rehabilitacije[15].

Uporaba Braccio di Ferro robota i provođenje gore navedene virtualne terapije prikladno je za pacijente s moždanim udarom i pacijente s multiplom sklerozom. Robot omogućuje izvođenje pasivnog, aktivnog, aktivno potpomognutog pokreta i pokreta s otporom[12].

### **3.1.3. ARMin III**

Jedan od egzoskeletona za ruke je ARMin III. Egzoskeletoni gornjih ekstremiteta nastali su kasnije jer su puno kompleksniji za samu izvedbu i obuhvaćaju skoro sve zglobove i pokrete ruke. Egzoskeleton mora cijelo vrijeme biti fiksiran za ruku pacijenta pri izvođenju svih pokreta. Dizajneri robota navode da pri izradi nije bio problem izraditi zglobove kao lakat jer oni izvode samo fleksiju i ekstenziju, već da je najveći problem bio dizajniranje zgloba ramena. Zbog same anatomije zgloba ramena ono ima najveću pokretljivost od svih zglobova u ljudskom tijelu[16].



*Slika 3.1.3.1. Prikaz ARMin III robotskog egzoskeletona*

(izvor: T. Nef, M. Guidali, R. Reiner: ARMin III – arm therapy exoskeleton with an ergonomic shoulder actuation, Applied Bionics and Biomechanics, 2009., str. 127-142)

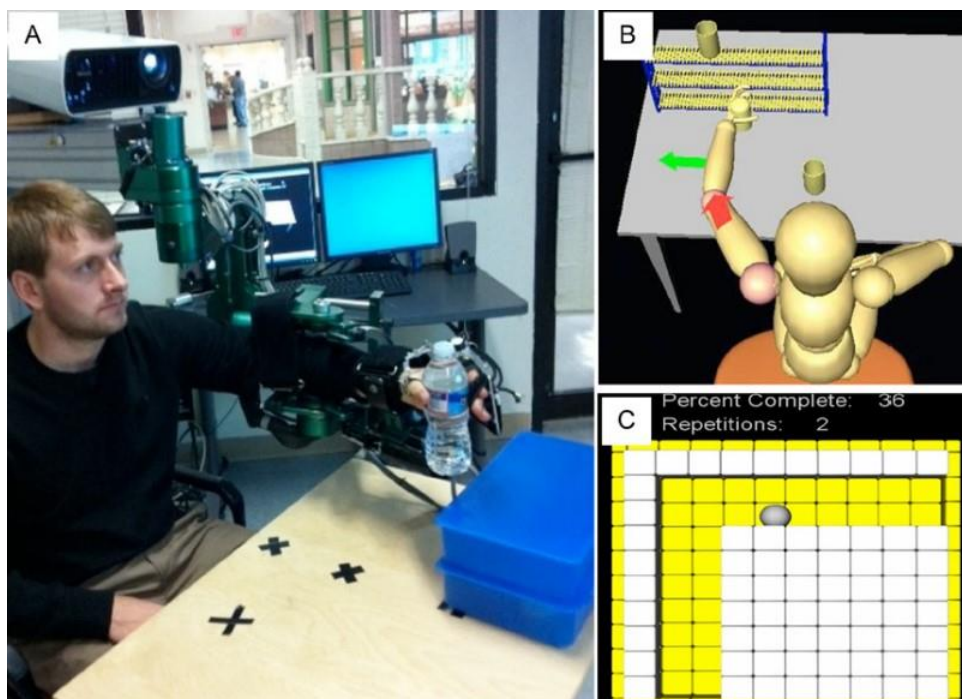
Na slici 3.1.3.1. vidimo prikaz ARMin III robota i pacijenta koji sjedi ispred robota. ARMin III robot koristi tri motora ( $M_1$ ,  $M_2$  i  $M_3$ ) za pokrete u zglobu ramena i jedan motor ( $M_4$ ) za fleksiju i ekstenziju u laktu.

Postoje četiri pasivna zgloba na egzoskeletonu. Prvi pasivni zglob ( $P_1$ ) omogućuje pokrete protrakcije i retrakcije ramena. Drugi ( $P_2$ ) i četvrti ( $P_4$ ) pasivni zglob omogućuju određivanje duljine nadlaktice i podlaktice. Treći pasivni zglob ( $P_3$ ) direktno je povezan s motorom  $M_4$ , te tako poboljšava stabilnost pri izvođenju pokreta u laktu.

Na krajnji dio robota se još dodaje modul za upravljanje pronacijom/supinacijom i fleksijom/ekstenzijom šake, dok se moduli za dodatnu finu motoriku šake mogu implementirati [16].

Neki od mogućih zadataka slični su prethodno navedenima, ali kod korištenja egzoskeletona prikladne su igre u 3 dimenzije, za razliku od prethodno navedenih zadataka koji su se obavljali u samo dvije dimenzije. Vježbe koje se izvode u tri dimenzije mogu biti aktivnosti svakodnevnog života koje se adaptiraju tako da pacijent izvodi pokret do svoje mogućnosti, a ostatak pokreta je potpomognut samim robotom.





*Slika 3.1.3.2. Prikaz terapije s ARMin III egzoskeletonom i HandSOME uređajem*

(Izvor: E. B. Brokaw i suradnici: Robotic Therapy Provides a Stimulus for Upper Limb Motor Recovery After Stroke That Is Complementary to and Distinct From Conventional Therapy, *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 2014., br. 28, str 367-376)

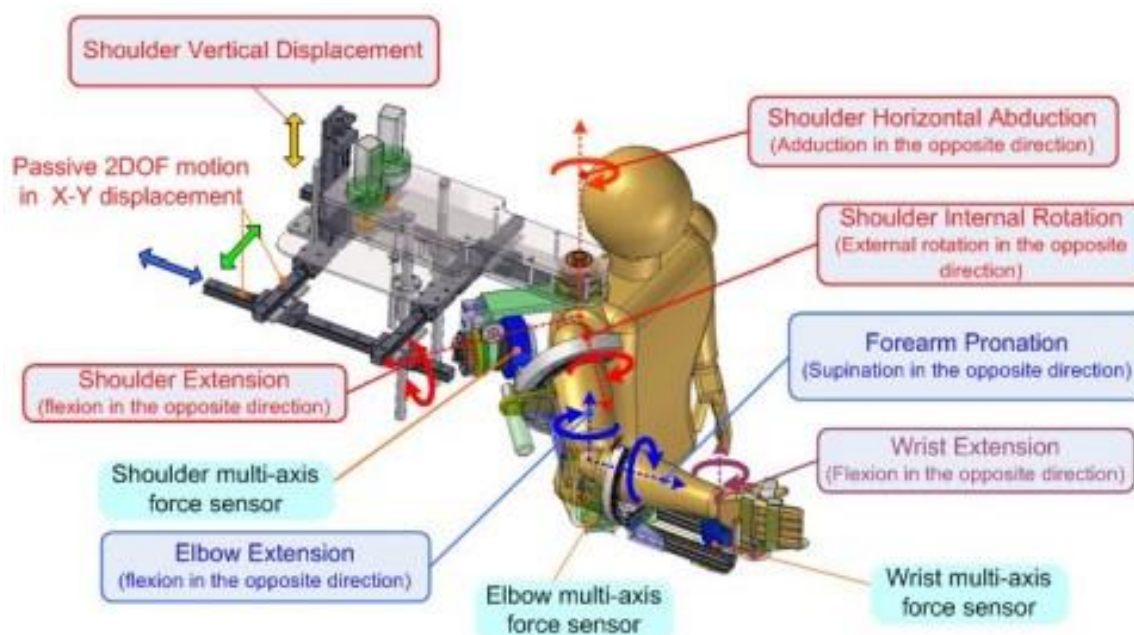
Na slici 3.1.3.2. vidimo prikaz uporabe ARMin III egzoskeletona u rehabilitacijske svrhe. Na ARMin III dodatno je implementiran HandSOME uređaj za finu motoriku šake. Na slici B prikazana je simulacija postavljanja čaše na policu, te dvije strelice. Boja strelica označava dali se pokret izvodi u željenom smjeru ili ne. Na slici C prikazano je vođenja kuglice kroz neki zadani prostor. Samom vježbom u tri dimenzije dobivamo pokrete i funkciju u svim zglobovima kakvu imamo u aktivnostima svakodnevnog života, što je i glavni cilj rehabilitacije neuroloških pacijenata.

Fizioterapeut ima uvid u opseg pokreta kod obavljanja određenih vježbi te prati povećanje opsega pokreta pri rehabilitaciji. Prilikom izvođenja vježbi fizioterapeut prati kako pacijent izvodi pokret te kada se robot uključuje. To fizioterapeutu daje informacije o tome koje pokrete osoba može izvesti sama, a za koje pokrete je potrebna pomoć. Iz tih informacija mogu se dalje specificirati vježbe za točno određenu funkciju ruke kod koje je potrebna rehabilitacija[17].

ARMin III egzoskeleton prikladan je za rehabilitaciju pacijenata nakon moždanog udara i pacijente s ozljedama leđne moždine. Moguće je aktivan, pasivan i aktivno potpomognut pokret[12].

### 3.1.4. IntelliArm

Još jedan od egzoskeletona koji se koristi za dijagnostiku i rehabilitaciju kod neuroloških pacijenata je IntelliArm. Vrlo je bitna dijagnostička funkcija ovog robota jer ona daje glavne informacije fizioterapeutu o pokretljivosti pacijenta i što je pacijent sposoban samostalno napraviti kroz aktivne pokrete. Nakon procesa dijagnostike može se odrediti plan i program daljnje rehabilitacije ovisno o tome kakvi su dijagnostički podatci[18].



Slika 3.1.4.1. Prikaz IntelliArm egzoskeletona

(Izvor: <https://www.semanticscholar.org/paper/IntelliArm%3A-An-exoskeleton-for-diagnosis-and-of-Park-Ren/a03ae676aa270645a5b30dc6514409a3fc4fdecc> )

IntelliArm egzoskeleton ima 7 aktivnih stupnjeva slobode i 2 pasivna stupnja slobode. Postavljena su 3 senzora koja mjere silu u 6 stupnjeva slobode na egzoskeleton. Jedan senzor je postavljen da mjeri sile u ramenu, drugi sile u laktu i treći sile u šaci. Na slici 3.1.4.1. prikazan je cijeli egzoskeleton postavljen na čovjeka i njegove mogućnosti.

Pri dijagnostici pacijenta na IntelliArm robotu prvo se izvodi provjera pasivnog pokreta. Pacijenta se postavi unutar egzoskeletona, te on pacijenta vodi pasivno kroz opsege pokreta do određene granice gdje senzori osjete određenu silu otpora u zglobovima pacijenta. Nakon testa usporede se krajnje točke pasivnih pokreta pacijenta s parametrima zdrave osobe, te se usporedio sami graf sile otpora. Uz mjerenje pasivnog opsega pokreta, moguće je mjerenje sile aktivnog pokreta pacijenta, te sinergije pokreta u zglobovima[18].

Pri samoj terapiji prvo se koristi gore navedena tehnika istezanja, a nakon toga aktivno potpomognuti pokreti kroz igranje određenih igara na monitoru kao kod prije navedenih robota. IntelliArm egzoskeleton ima opciju za dodavanje otpora pacijentima u pokretu određenog zgloba, što nam daje opciju izvođenja pokreta s opterećenjem i tako jačanja pokreta koji je pacijent sposoban sam izvesti ali još nije na razini normalne snage.

Dizajneri samog robota napravili su tablicu u kojoj su sve pokrete koji su izvedivi u egzoskeletonu naveli, kao i njihove glavne karakteristike koje pomažu terapeutu u procesu rehabilitacije do razine normalne funkcije kod pacijenta[18].

Tablica 3.1.4.1. Prikaz stupnjeva mobilnosti, brzine pokreta i maksimalne sile kod IntelliArm

(Izvor: H. Park, Y. Ren, L. Zhang: IntelliArm: An Exoskeleton for Diagnosis and Treatment of Patients with Neurological Impairments, Biomedical Robotics and Biomechanics, Scottsdale, 2008., str. 109-114)

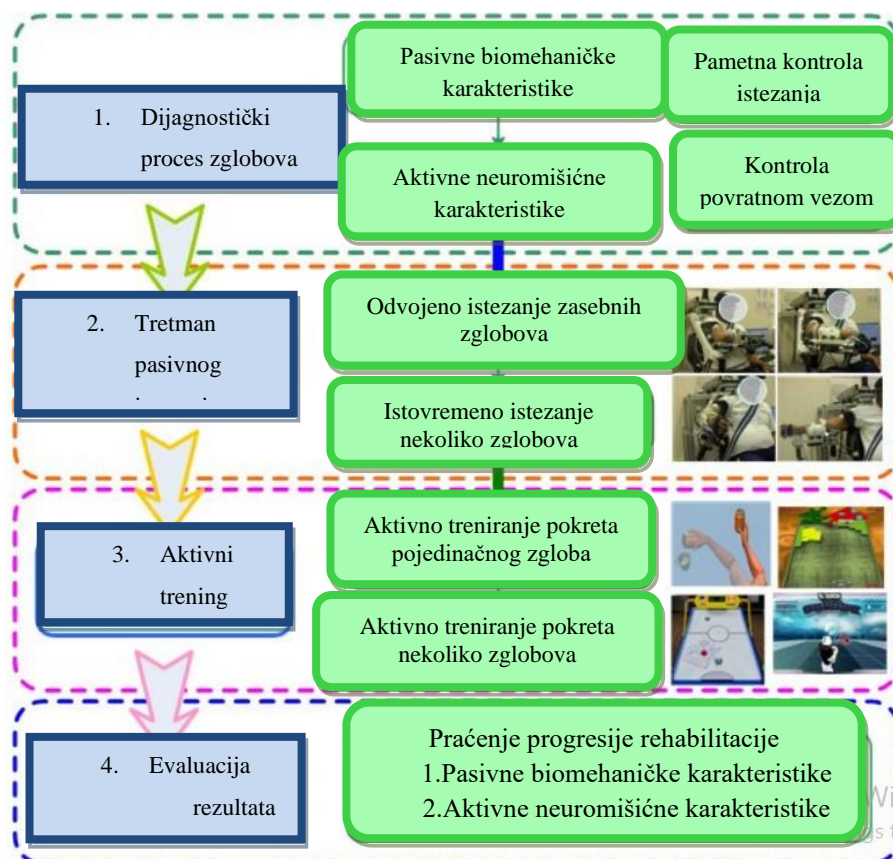
Zglob	Stupanj mobilnosti u aktivnostima svakodnevnog života	Stupanj mobilnosti IntelliARM	Maksimalna brzina pokreta	Maksimalna sila
Rame (abdukcija i adukcija)	120°	135°	70 °/s	85.3 Nm
Rame (fleksija i ekstenzija)	110°	110°	35 °/s	200 Nm
Rame (vanjska i unutarnja rotacija)	135°	135°	50 °/s	20 Nm
Rame Vertikalni pomak	150 mm	200 mm	150 mm/s	640 N
Lakat (fleksija i ekstenzija)	120°	130°	180 °/s	32 Nm
Podlaktica (supinacija i pronacija)	150°	150°	50 °/s	11 Nm
Šaka (fleksija i ekstenzija)	115°	150°	180 °/s	9 Nm

U tablici 3.1.4.1. vidimo prikazane stupnjeve mobilnosti u zglobovima gornjih ekstremiteta u aktivnostima svakodnevnog života, te maksimalne stupnjeve mobilnosti kod egzoskeletona IntelliArm.

Prilikom procesa rehabilitacije cilj je doći do razine stupnja mobilnosti u aktivnostima svakodnevnog života u svakom pokretu navedenih zglobova. Vidimo još i maksimalnu brzinu pokreta u tim zglobovima, te maksimalnu silu pokreta. Cilj prilikom terapije je vratiti snagu i

brzinu u svim pokretima do normalne razine. Ciljevi ovise o stanju pacijenta, i dijagnozi i moraju biti realni za svakog pacijenta pojedinačno[18].

Dijagram samog procesa rehabilitacije uz pomoć IntelliArm egzoskeleta podijeljen je u četiri glavne faze. Na slici 3.1.4.2. vidimo podjelu cijeloga dijagrama. Prva faza je dijagnostički proces zglobova, u kojoj se analiziraju pasivne biomehaničke karakteristike zglobova, a nakon toga se analiziraju aktivne neuromišićne karakteristike. U prvoj fazi koristi se pametna kontrola istezanja gdje sam robot koristi povratnu vezu otpora istezanja za određivanje krajnjih točaka mogućnosti istezanja u određenom zglobu. U drugoj fazi izvodi se tretman pasivnog istezanja. Provodi se odvojeno istezanje zasebnih zglobova, te potom istovremeno istezanje nekoliko zglobova. U trećoj fazi provodi se aktivan trening pokreta gdje pacijent sam pokušava izvesti određene pokrete. Koristi se aktivan trening pokreta pojedinačnog zgloba, a potom aktivan trening pokreta nekoliko zglobova. U provođenju tih aktivnosti koriste se igre virtualne realnosti. U četvrtoj fazi se provodi evaluacija rezultata. Prati se progresija iz terapije u terapiju, poboljšanja ili pogoršanja u pasivnim biomehaničkim karakteristikama i aktivnim neuromišićnim karakteristikama.



Slika 3.1.4.2. Prikaz podjele procesa rehabilitacije

(Izvor: H. Park, Y. Ren, L. Zhang: IntelliArm: An Exoskeleton for Diagnosis and Treatment of Patients with Neurological Impairments, Biomedical Robotics and Biomechatronics, Scottsdale, 2008., str. 109-114)

## **3.2. Robotska neurorehabilitacija donjih ekstremiteta**

Kod robotske neurorehabilitacije donjih ekstremiteta roboti se dijele u 2 skupine isto kao i kod gornjih ekstremiteta. Neurorehabilitacija donjih ekstremiteta je kompleksnija jer zahtjeva kontrolu težine cijeloga tijela pacijenta, te su sami roboti koji tome služe puno veći nego roboti koji se koriste kod rehabilitacije gornjih ekstremiteta[12].

Prva skupina su roboti koji kontroliraju samo jedan dio uda, a druga skupina su egzoskeletoni. Prva skupina se još dijeli na robote koji se baziraju na pločama koje su odvojene za svako stopalo, i na robote koji koriste platformu za oba stopala. Roboti koji koriste odvojene ploče za stopala se baziraju na rehabilitaciji hoda, a roboti koji koriste platformu se baziraju na rehabilitaciji stabilnosti u trupu i donjim ekstremitetima[12].

Druga skupina se dijeli još na egzoskeletone koji koriste traku za hodanje i na egzoskeletone koji hodaju po podu. Egzoskeletoni koji koriste traku za hodanje su veći, i stacionarni, te se baziraju na učenju što je moguće pravilnijem obrascu hoda. Egzoskeletoni koji hodaju po podu su manji i pacijent ih nosi, baziraju se na učenju pravilnog hoda po neravnim podlogama kao što su stepenice ili neke prepreke s kojima se susrećemo u aktivnostima svakodnevnog života[12].

### **3.2.1. Gait Trainer**

Jedan od segmentnih robota za neurorehabilitaciju donjih ekstremiteta koji koristi odvojene ploče za svako stopalo je Gait Trainer (GT1). Glavna njegova uloga je učenje pacijenta pravilnom hodu. Dvije ploče za svako stopalo su povezane na motor koji ih vodi kroz pokret hoda gdje je hod odvojen u 40% faze njihanja i 60% faze oslonca[19].

Svaka noga je postavljena u svoju odvojenu platformu. Te dvije platforme za stopala imaju svoje kućište kako bi mogle pratiti pokrete noge, a pritom da ne dođe do pokreta u stranu ili u neki drugi neželjeni položaj. Ploče za stopala su povezane šipkama za motor koji se nalazi sa stražnje strane cijeloga pogona. Te dvije šipke koje se nalaze na motoru koji se okreće pozicionirane su tako da pokreti nogu budu u protufazi.

Pojam protufaze označava da kada je jedna strana na maksimalnoj visini, druga je na najnižem položaju. Tako dobivamo položaje nogu gdje je jedna noga ispred tijela pacijenta, a druga iza. Takav sustav omogućuje imitaciju normalnog hoda čovjeka.

Uz motor implementiran je i senzor koji prima informacije o aktivnosti pacijenta, te uz pomoć toga terapeut dobiva povratnu informaciju. To može poslužiti u praćenju procesa rehabilitacije tako da iz terapije u terapiju fizioterapeut prati ima li poboljšanja ili pogoršanja u aktivnosti pacijenta pri izvođenju terapije[19].

Na slici 3.2.1.1. vidimo osobu koja je postavljena u Gait Trainer robot za rehabilitaciju. Cijeli sustav robota je vrlo glomazan, te zahtjeva veliku prostoriju kako bi mogao funkcionirati. Pacijent je postavljen u suspenzije, rukama se drži za šipku ispred sebe, noge su postavljene u odvojene platforme i s lijeve strane vidimo konzolu s kojom se upravlja brzina hoda.

Moguće je izvoditi pasivne, aktivno potpomognute ili aktivne pokrete hoda. Pasivno izvođenje pokreta korisno je kod pacijenata koji imaju visok stupanj oštećenja, aktivno potpomognuti pokreti kod pacijenata u procesu oporavka i vraćanja funkcije i aktivni pokret hoda za jačanje snage i brzine hoda[19].

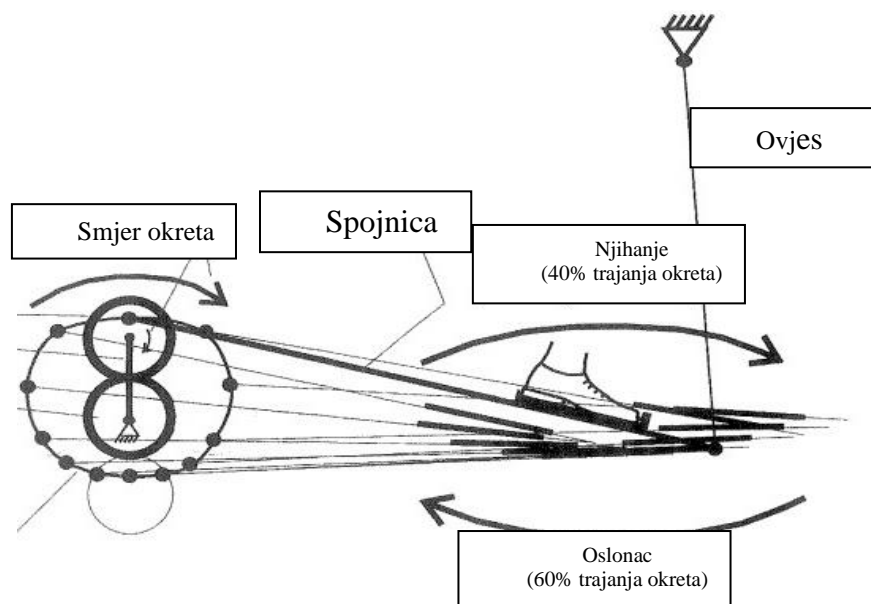


*Slika 3.2.1.1. Prikaz uporabe Gait Trainer robota*

(Izvor: <https://www.researchgate.net/figure/Training-of-a-patient-with-Parkinsons-disease-on-the-Gait-Trainer-GT1-Reha-Stim-fig1-253055066> )

Motor koji pokreće ploče pokreće se brzinom koja je određena, ali regulira brzinu prema tome dali pacijent pomaže pri pokretu ili se odupire. Robot koristi i kontrolu centra težišta pacijenta u vertikalnoj i horizontalnoj ravnini putem užadi koja je postavljena vertikalno iznad pacijenta, te drugo uže koje je postavljeno s lijeve strane kuka pacijenta[19].





Slika 3.2.1.2. Prikaz pokreta motora i stopala kod Gait Trainer robota

( Izvor: [https://www.researchgate.net/figure/Electromechanical-Gait-Trainer-GT-I-with-movable-footplates-The-photograph-on-the-left\\_fig1\\_6514377](https://www.researchgate.net/figure/Electromechanical-Gait-Trainer-GT-I-with-movable-footplates-The-photograph-on-the-left_fig1_6514377) )

Na slici 3.2.1.2. vidimo prikazan odnosa vrtnje motora i svih mogućih položaja ploča na kojima se nalaze stopala same osobe. Stopalo dobiva položaj nagnutosti prema naprijed kada ide kroz fazu njihanja, te se vraća u ravan položaj kada prolazi kroz fazu oslonca.

Proces rehabilitacije samog pacijenta uz Gait Trainer uređaj bazira se na tome da se pacijentova tjelesna težina početno oslanja na suspenzije i postepeno prepušta snazi samog pacijenta. Uz regulaciju težine pacijent u početku uči pravilno hodati, te aktivira mišiće i tako vraća njihovu funkciju i snagu. Duljina trajanja hoda se produljuje iz terapije u terapiju i prati se osjećaj umora kod pacijenta. Proces rehabilitacije ovisi o dijagnozi i stanju pacijenta, a u tom procesu nam pomažu povratne informacije robota, te povratne informacije od samoga pacijenta[19].

Korištenje Gait Trainer robota prikladno je za pacijente s moždanim udarom, multiplom sklerozom, Parkinsonovom bolešću i cerebralnom paralizom[12].

### 3.2.2. Hunova

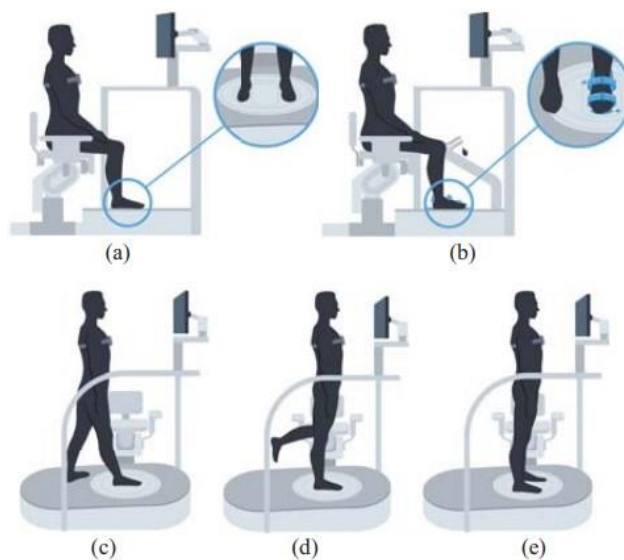
Jedan od segmentnih robota koji koristi platformu za oba stopala je Hunova. Ovaj robot se koristi za rehabilitaciju gležnja, donjih ekstremiteta, kralježnice i trupa. Robot je sastavljen od dva glavna pomična dijela koji se koriste u svrhu rehabilitacije, a to su sjedalo i platforma za stopala[20].



Slika 3.2.2.1. Prikaz Hunova robota

(Izvor: <https://www.medicaexpo.com/prod/movendo-technology/product-120888-877303.html> )

Platforma za stopalo ima 2 stupnja slobode, te ima senzor koji mjeri silu u svim smjerovima kako bi se dobila povratna informacija. Pokreti pomicanja platforme limitirani su na stupnjeve pokreta koji su normalni za pokrete u gležnju[20].



Slika 3.2.2.2. . Prikaz pozicioniranja na Hunova platformi

(Izvor: J. A. Saglia i suradnici: Design and Development of a Novel Core, Balance and Lower Limb Rehabilitation Robot: hunova, International Conference on Rehabilitation Robotics, Toronto, 2019., str. 417-422)

Na slici 3.2.2.2. vidimo prikazane moguće pozicije izvođenja vježbi na Hunova platformi. Na slici 3.2.2.2. a) prikazana je pozicija koja se koristi za vježbanje trupa gdje osoba sjedi, te su obje



noge simetrično postavljene na platformu. Tu glavnu ulogu ima pomicanje sjedala kako bi se stvorile pozicije nestabilnosti trupa gdje se mišići trupa aktiviraju.

Na slici 3.2.2.2. b) prikazana je pozicija koja se koristi za izvođenje vježbi gležnja, pacijent sjedi, te je jedno stopalo na platformi i privezano za nju. U takvoj poziciji stopalo koje je privezano može izvoditi pokrete inverzije, everzije, plantarne i dorzalne fleksije.

Na slici 3.2.2.2. c) prikazano je da pacijent stoji s jednom nogom na platformi, a druga noga je iza te nju koristi za stabilnost i određivanje prijenosa težine na samo stopalo koje se nalazi na platformi.

Na slici 3.2.2.2. d) prikazano je kako pacijent stoji s jednom nogom na platformi, a druga je u zraku, te tako cijelu svoju težinu prenosi na stopalu koje se nalazi na platformi.

Na slici 3.2.2.2. e) prikazano je kako pacijent s obje noge stoji na platformi.

Određivanje pozicije u kojoj osoba koristi Hunova robot je specifična oštećenju koje osoba ima. Pozicije se mogu modificirati kako bi djelovale točno na problem. Vježbe koje se izvode u tim pozicijama su vježbe stabilnosti, vježbe ustajanja, vježbe jačanja mišića trupa, natkoljenice i potkoljenice.

Robot ima funkcije izvođenja pasivnog pokreta, aktivnog i aktivno potpomognutog. Koristi se i monitor za biofeedback koji koristi pacijentu i fizioterapeutu kako bi se mogao pratiti napredak i postavljanje daljnjih ciljeva rehabilitacije[20].

### **3.2.3. Lokomat**

Jedan od egzoskeletona koji koristi traku za hodanje kao podlogu je Lokomat. Lokomat ima dugu povijest u primjeni na neurološkim pacijentima, koristi se od 1999. godine.

Sastoji se od trake za hodanje, suspenzije za kontroliranje težine tijela pacijenta i robotske ortoze. Lokomat ima četiri stupnja slobode (oba kuka i oba koljena).

Pacijenti se postavljaju u egzoskeleton, a glavni cilj Lokomat-a je vježbanje normalnog hoda. Pomoću suspenzije postepeno se određuje postotak tjelesne težine s kojom pacijent samostalno može hodati. U početku rehabilitacije postotak tjelesne težine s kojom pacijent stoji je specifično određen ovisno o oštećenju i mogućnostima osobe. Pravilno izvođenje pokreta hodanja i učenje pravilnog hoda je primarni cilj na koji se postepeno nadodaje opterećenje tjelesne težine[21].

Fizioterapeut procjenjuje gdje pacijent ima problem pri hodu, te koliko pomoći egzoskeletona je potrebno kako bi se dobio pravilan pokret. Brzina hoda i trake za hodanje postavlja se prema mogućnostima pacijenta. U procesu rehabilitacije brzina hoda se povećava postepeno kad pacijent usavrši pravilno izvođenje pokreta.

Lokomat izvodi pravilne pokrete u zglobovima kuka i koljena, te pacijent koji vježba aktivno prati pokrete koliko god je to moguće. Lokomat koristi senzore sile i EMG aktivacije kako bi fizioterapeut imao uvid u biofeedback. Pomoću biofeedback-a fizioterapeut vidi koji se mišići aktiviraju i kada. Uz pomoć te informacije može se odrediti točno koji mišići imaju problem aktivacije, te napraviti specifični rehabilitacijski program za svakog pacijenta.

Uz sam egzoskeleton i traku za hod koristi se i monitor na kojem su specijalno dizajnirane igre za rehabilitaciju. Biofeedback koji fizioterapeut vidi i razumije prenosi se u oblik igre gdje i sam pacijent na jednostavan i razumljiv način ima uvid u svoj obrazac hoda. Uz praćenje tih igara pacijent sam može uvidjeti gdje se mora više potruditi prilikom terapije i na što mora obraćati više pažnje[21].



*Slika 3.2.3.1. Prikaz Lokomat egzoskeletona*

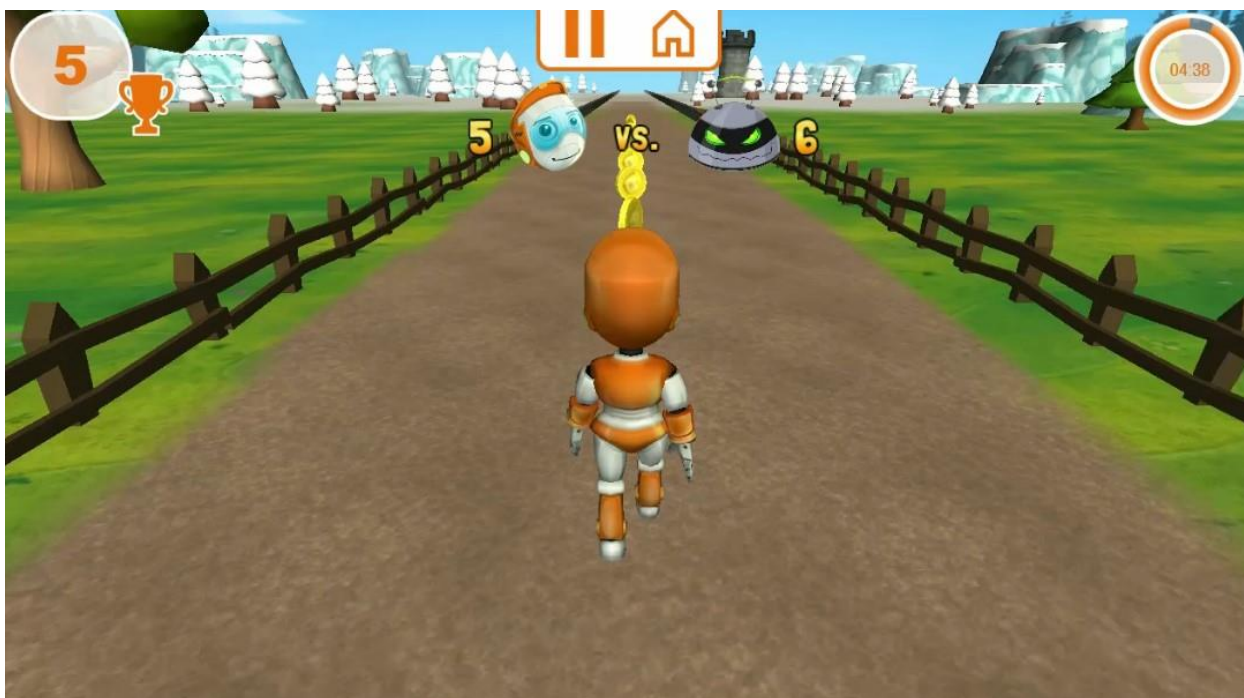
Izvor: <https://noro.mx/lokomat-robot-especializado-rehabilitacion-durango/amp/> )

Na slici 3.2.3.1. vidimo prikaz Lokomat egzoskeletona. Osoba gleda u monitor na kojem se često koriste igre virtualne realnosti kako bi se što više motiviralo pacijenta na hod i suradnju u terapiji.

Proces dijagnostike kod Lokomat-a koristan je u prenošenju tih informacija pacijentu putem igara. Pacijent ima uvid u brzinu svoga hoda, usklađenost pokreta obje noge i opseg pokreta nogu.

Sam hod nije potpuno određen egzoskeletonom, nego se koristi povratna veza kojom se registrira kako i kojim pokretima pacijent želi hodati, te se tako egzoskeleton adaptira na hod svakog pacijenta pojedinačno. Egzoskeleton ima određene parametre hoda koji se podrazumijevaju kao fiziološki kako ne bi došlo do adaptacije egzoskeletona na trik pokrete osobe koja odrađuje terapiju.

Kod osoba s moždanih udarom egzoskeleton zdrave noge samo prati pokrete pacijenta, a egzoskeleton bolesne strane potpomaže pokret, te replicira amplitudu pokreta i sile sa zdrave strane. Uz pomoć toga pacijent slobodno koristi zdravi ud, te tako stvara sliku svog fiziološkog hoda koji služi fizioterapeutu i egzoskeletonu za rehabilitaciju bolesne strane tijela[21].



*Slika 3.2.3.2. Prikaz jedne od igara sustava Lokomat-a*

(Izvor: <https://www.hocoma.com/solutions/lokomat/software/> )

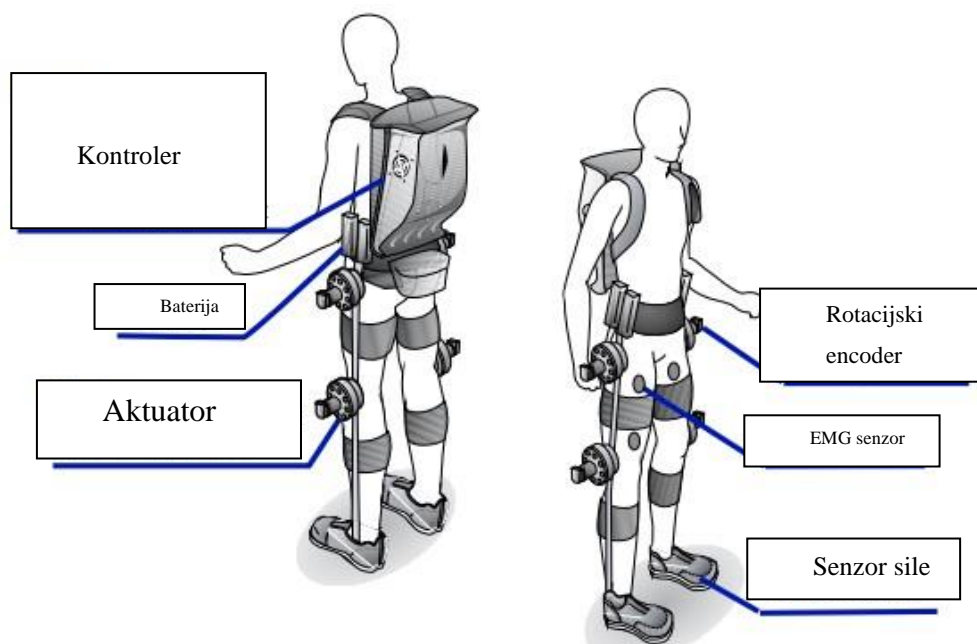
Na slici 3.2.3.2. vidimo prikaz jedne od igara. Narančasti čovječuljak predstavlja osobu koja koristi Lokomat. Cilj igre je skupljati novčiće ispred čovječuljka koji su posloženi u ravnoj liniji. U gornjem desnom kutu prikazano je vrijeme trajanja igre. Ako pacijent ima usklađene pokrete obje noge, te izvodi puni opseg pokreta čovječuljak će hodati u ravnoj liniji, te će skupiti novčiće. Ako pacijent nema ujednačene pokrete obje noge, čovječuljak će otići u stranu, te neće

skupiti novčiće. Ovakav način rehabilitacije uz virtualnu realnost pacijentima daje prikaz njihova hoda i cilja koji želimo kod njih postići na način koji je njima lako shvatiti.

Lokomat se primjenjuje u radu s pacijentima koji pate od moždanog udara, ozljede kralježnične moždine, traumatske ozljede mozga, Parkinsonove bolesti, multiple skleroze i cerebralne paralize[12].

### 3.2.4. HAL

Jedan od egzoskeletona donjih ekstremiteta koji hoda po podu je HAL. HAL egzoskeleton ima tri verzije. Prva verzija je egzoskeleton cijelog tijela, druga verzija obuhvaća obje noge, a treća samo jednu nogu. Glavni problem kod egzoskeletona koji hodaju po podu je to što moraju predvidjeti kakav pokret pacijent želi izvesti. HAL egzoskeleton to radi tako da koristi bioelektrični signal na površini kože mišića. Takav način rada nije dobar za pacijente s hemiplegijom jer mioelektrični signal nije jednak signalu zdravog ekstremiteta, te je zbog toga vrlo teško izvesti adekvatan pokret[22].



Slika 3.2.4.1. Prikaz HAL egzoskeletona i njegovih dijelova

(Izvor: H. Kawamoto, Y. Sankai: Power Assist System HAL-3 for Gait Disorder Person, ICCHP 2002, str. 196 – 203)

Egzoskeleton se sastoji od tri zglobova koji se nalaze kod kuka, koljena i gležnja pacijenta. Svaki taj zglob ima jedan stupanj slobode. Motori imaju svoju funkciju potpomaganja pokretu u zglobovima kuka i koljena. Glavna funkcija HAL robota je da pacijent dobije funkciju hoda po

preprekama vanjskog svijeta (neravan teren, stepenice). Senzori mjere aktivaciju mišića, kut svakog zgloba i silu kojom pacijent stoji na podlozi. Iz svih tih podataka određuje se gdje je potrebna pomoć pri pokretu.

Ovakav egzoskeleton nema suspenzije za prijenos tjelesne težine pacijenta, nego je prijenos težine određen samim egzoskeletonom i njegovom aktivacijom. Glavna prednost ovakvog egzoskeletona je to što pacijent hoda po vanjskom terenu, a ne po pokretnoj traci.

Dizajneri robota prvo su napravili pokus na zdravoj osobi u početku bez asistencije robota kako bi vidjeli normalnu EMG aktivaciju mišića, te su potom po grafovima aktivacije mišića u točno određenim trenutcima hoda aktivirali funkciju robota. Doneseni zaključak je bio da egzoskeleton daje jako dobru potporu i vođenje kroz pokret, a da pri tome ostaje normalna funkcija hoda[23].

### **3.3. Prednosti i nedostaci robotske neurorehabilitacije**

Unatoč velikom broju inovacija u svijetu robotske neurorehabilitacije, postoji mjesta za napredak. Istraživanja koja su do sada napravljena pokazuju pozitivan učinak korištenja robotike uz standardnu terapiju, no potrebno je više istraživanja s velikim brojem pacijenata kako bi se to potvrdilo. Potrebno je poboljšanje u upravljanju robotima, te u mehatroničkoj strukturi robota. Egzoskeletoni unatoč svojoj izvrsnoj korisnosti i rezultatima su i dalje prekompleksni u svojoj građi[12].

Dizajn većine robotskih mehanizama, iako je sofisticiran, prilično je glomazan, aparati su većinom teški i statični. Čak i najsofisticiraniji roboti imaju ograničenje u stupnjevima slobode po pojedinom zglobu, tako da se ne mogu usporediti s pokretom koji može pružiti fizioterapeut u vježbanju „jedan na jedan“, uz napomenu da se s fizioterapeutom ne može osigurati veliki broj ponavljanja kao s robotom. Vježbanje, kod većine robota, ograničeno je na jednu prostoriju i uglavnom se ne može koristiti u prirodnom okolišu[11].

Robote je potrebno adaptirati tako da postanu lakši, prenosivi i efektivniji, a da uz to ne gube na sigurnosti i snazi. Takve promjene izazvale bi drastičnu promjenu u cijeni samih uređaja. Kako bi se dio tih zahtjeva mogao ispuniti potrebno je određivanje bolesti za koju bi se robot koristio. Kada se to odredi sve suvišne funkcije se maknu, te ostanu samo one nužne. Tako bi dobili robote koji su specijalizirani za jedno područje, te bi svaki dio i svaka funkcije tog robota imala ključnu ulogu[12].

S druge strane današnji roboti nam pokazuju kako postoje drugi načini rehabilitacije. Otvaraju svijet gdje osoba koja ne može samostalno hodati, pravilno izvodi potpomognute pokrete hoda, što nije u potpunosti moguće klasičnom terapijom. Takvi uređaji uz poboljšanje

terapije olakšavaju fizički dio posla fizioterapeuta. Fizioterapeuti bi se mogli više posvetiti razvijanju procesa rehabilitacije, praćenju parametara i određivanju ključnih problema. Dijagnostičke funkcije donose informacije koje su korištenjem klasične terapije bile nedostupne. Uz te informacije omogućeno je kvalitetnije praćenje i bolje određivanje daljnje terapije[12].

Postoji mogućnost implementacije uređaja koji bi dodatno pomogli u procesu rehabilitacije. Uvođenjem uređaja koji prenose osjećaj vibracije ili druge taktilne podražaje dobivamo uređaj koji rehabilitira motorne i senzorne aspekte zajedno. Uz sve prednosti i mane robotske neurorehabilitacije pacijentov osjećaj i njegove povratne informacije su ključne za daljnji napredak[12].

## 4. Zaključak

S obzirom na prilično velik broj bolesnika koji imaju invaliditet uzrokovan neurološkim oboljenjima neophodan je razvoj novih tehnologija koje imaju mogućnost osigurati bolju, bržu i efikasniju rehabilitaciju.

Studije koje uspoređuju klasičnu rehabilitaciju i rehabilitaciju uz pomoć robotike prikazuju pozitivan učinak korištenja i implementacije robotike. Roboti i sustavi koji se koriste još su u procesu inovacija i nadograđivanja. Robotika koja se danas koristi daje nam primjere i ideje kako bi se rehabilitacija mogla odvijati u budućnosti. U današnjici robotika još uvijek ne može potpuno zamijeniti fizioterapeute. Fizioterapeut može izvoditi razne pokrete i svaki pokret koji izvodi može u točno određenom trenutku adaptirati po reakcijama pacijenta. Fizioterapeut ima direktan kontakt s pacijentom, što mu omogućuje da analizira, palpira, testira i izvodi sve potrebne tehnike kako bi prikupio što više informacija, te sve te informacije iskoristio za adaptaciju procesa rehabilitacije. Roboti su ograničeni na određene opsege pokreta u zglobovima, statički su i teško se implementiraju u bolničku okolinu.

Unatoč nedostacima robotske neurorehabilitacije ona se implementira uz klasičnu rehabilitaciju kako dodatak. Osobe mlađe životne dobi traže takav način rehabilitacije, jer im takav način pruža više motivacije, te im predstavlja novi pogled na proces rehabilitacije. Primjenom ovakvih robota otkrivaju se pozitivni aspekti, ali i negativni. Veća primjena dovodi do više povratnih informacija za dizajnere robota, te se tako omogućuje bolji i brži proces inovacije i adaptacije robota.

## 5. Literatura

- [1] Z. Poljaković: Utjecaj tjelesne aktivnosti na neuroplastičnost mozga i neurorehabilitaciju nakon moždanog udara, *Medicus* 2019, 28, str. 205-211, <https://hrcak.srce.hr/file/330722> pristupljeno: 25.5.2023.
- [2] A. C. Guyton: Fiziologija čovjeka i mehanizmi bolesti, peto izdanje, Medicinska naklada Zagreb, 1994.
- [3] V. Brinar i suradnici: Neurologija za medicinare, Zagreb: Medicinska naklada 2009.
- [4] S. Lennon, M. Stokes: Pocketbook of Neurological Physiotherapy, Churchill Livingstone, 2009. <https://www.sciencedirect.com/book/9780443068546/pocketbook-of-neurological-physiotherapy> pristupljeno: 15.4.2023.
- [5] V. Demarin, S. Mohorović, R. Bene, Neuroplasticity, *Periodicum biologorum* 2014. Vol.116, No 2, 209-211. <https://hrcak.srce.hr/126369> pristupljeno: 23.5.202
- [6] O'Young B., Young M., Stiens S.: Physical medicine and rehabilitation, Mosby Elsevier, Philadelphia 2008., 444. str., 447-448str.
- [7] Lassmann H. (2005) Mechanisms of multiple sclerosis. *Drug Discovery Today: Disease Mechanisms* 2, 447-452. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1740676505000933> pristupljeno: 25.5.2023.
- [8] Ž. Bakran, M. Varjačić, D. Tršinski: Rehabilitacija osoba s multiplom sklerozom, *Med Vjesn* 2012, 44: 117-124. <https://hrcak.srce.hr/187553> pristupljeno: 21.5.2023.
- [9] V. Vuletić: Parkinsonova bolest – nove spoznaje, *Neurologija danas*, Klinika za neurologiju, KBC Rijeka, 31.7.2018. <https://hrcak.srce.hr/216809> pristupljeno: 24.4.2023.
- [10] T. Schnurrer – Luke – Vrbanić, S. Moslavac, I. Džidić: Rehabilitacija bolesnika s ozljedom kralježnične moždine, *Medicina fluminensis* 2012.; 48(4): str. 366-379 <https://hrcak.srce.hr/95723> pristupljeno: 15.5.2023.
- [11] T. Schnurrer-Luke-Vrbanić: Robotika u neurorehabilitaciji: jučer, danas, sutra, Pregledni rad, KBC Rijeka, 2016. <https://hrcak.srce.hr/file/240746> pristupljeno 23.05.2023.
- [12] R. Iandolo i suradnici: Perspectives and Challenges in Robotic Neurorehabilitation, *Applied Sciences*, Vol. 9, Br. 15, 2019. <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/15/3183> pristupljeno: 14.4.2023.
- [13] H. I. Krebs i suradnici: Rehabilitation robotics: pilot trial of a spatial extension for MIT-Manus, *J Neuroeng Rehabil.* 2004. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15679916/> pristupljeno: 26.4.2023.



- [14] M. Casadio, V. Sanguineti, P.G. Morasso. V. Arrichiello: Braccio di Ferro: A new haptic workstation for neuromotor rehabilitation, *Technology and Health Care* 14, str. 123-142, 2006. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16971753/> pristupljeno: 26.4.2023.
- [15] E. Vergaro, M. Casadio, V. Squeri, P. Giannoni, P. Morasso, V. Sanguineti: Self-adaptive robot training of stroke survivors for continuous tracking movements, *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 2010. <https://jneuroengrehab.biomedcentral.com/articles/10.1186/1743-0003-7-13> pristupljeno: 27.4.2023.
- [16] T. Nef, M. Guidali, R. Reiner: ARMin III – arm therapy exoskeleton with an ergonomic shoulder actuation, *Applied Bionics and Biomechanics*, 2009., str. 127-142 <https://content.iospress.com/articles/applied-bionics-and-biomechanics/abb384187> pristupljeno: 27.4.2023.
- [17] E. B. Brokaw i suradnici: Robotic Therapy Provides a Stimulus for Upper Limb Motor Recovery After Stroke That Is Complementary to and Distinct From Conventional Therapy, *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 2014., br. 28, str 367-376 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24297763/> pristupljeno: 27.4.2023.
- [18] H. Park, Y. Ren, L. Zhang: IntelliArm: An Exoskeleton for Diagnosis and Treatment of Patients with Neurological Impairments, *Biomedical Robotics and Biomechatronics*, Scottsdale, 2008., str. 109-114 <https://ieeexplore.ieee.org/document/4762876> pristupljeno: 27.4.2023.
- [19] S. Hesse, D. Uhlenbrock: A mechanized gait trainer for restoration of gait, *Journal of Rehabilitation Research and Development*, vol. 37 br. 8, str. 701-708, 2000. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11321006/> pristupljeno: 28.4.2023.
- [20] J. A. Saglia i suradnici: Design and Development of a Novel Core, Balance and Lower Limb Rehabilitation Robot: hunova, *International Conference on Rehabilitation Robotics*, Toronto, 2019., str. 417-422 <https://ieeexplore.ieee.org/document/8779531> pristupljeno: 28.4.2023.
- [21] S. Jezernik i suradnici: Robotic Orthosis Lokomat: A Rehabilitation and Research Tool, *International Neuromodulation Society* 2003, vol. 6, br. 2, str. 108-115 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22150969/> pristupljeno: 28.4.2023.
- [22] H. Kawamoto i suradnici: Voluntary Motion Support Control of Robot Suit HAL Triggered by Bioelectrical Signal for Hemiplegia, *32nd Annual International Conference of the IEEE, Buenos Aires, 2010.*, str. 462 – 466 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21095652/> pristupljeno: 29.4.2023.

- [23] H. Kawamoto, Y. Sankai: Power Assist System HAL-3 for Gait Disorder Person, ICCHP 2002, str. 196 – 203 [https://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-45491-8\\_43](https://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-45491-8_43) pristupljeno: 29.4.2023.

## **Popis tablica**

Tablica 2.5.1. Prikaz razine i utjecaj ozljede kralježnice.....	12
Tablica 2.5.2. Prikaz AIS ljestvice.....	13
Tablica 3.1.4.1. Prikaz stupnjeva mobilnosti, brzine pokreta i maksimalne sile kod IntelliArm .....	23

## Popis slika

Slika 1.1.1. Podjela živčanog sustava.....	2
Slika 1.1.2. Prikaz neurona i njegovih dijelova.....	3
Slika 1.1.3. Prikaz sinapse.....	4
Slika 1.1.4. Motorička os živčanog sustava.....	5
Slika 2.2.1. Mjesto moždanog udara i dio tijela sa simptomima.....	8
Slika 2.3.1. Usporedba zdravog neurona i neurona zahvaćenog multiplom sklerozom.....	9
Slika 2.3.2. Četiri vrste progresije multiple skleroze .....	10
Slika 2.4.1. Prikaz simptoma Parkinsonove bolesti.....	11
Slika 2.5.1. Prikaz ozljeda mozga.....	14
Slika 3.1.1.1. Prikaz uporabe MIT Manus robota .....	18
Slika 3.1.2.1. Prikaz Braccio di Ferro robota .....	19
Slika 3.1.2.2. Prikaz virtualnog zadatka .....	20
Slika 3.1.3.1. Prikaz ARMin III robotskog egzoskeletona .....	20
Slika 3.1.3.2. Prikaz terapije s ARMin III egzoskeletonom i HandSOME uređajem .....	21
Slika 3.1.4.1. Prikaz IntelliArm egzoskeletona .....	22
Slika 3.1.4.2. Prikaz podjele procesa rehabilitacije.....	24
Slika 3.2.1.1. Prikaz uporabe Gait Trainer robota .....	26
Slika 3.2.1.2. Prikaz pokreta motora i stopala kod Gait Trainer robota.....	27
Slika 3.2.2.1. Prikaz Hunova robota .....	29
Slika 3.2.2.2. . Prikaz pozicioniranja na Hunova platformi.....	28
Slika 3.2.3.1. Prikaz Lokomat egzoskeletona.....	30
Slika 3.2.3.2. Prikaz jedne od igara sustava Lokomat-a.....	31
Slika 3.2.4.1. Prikaz HAL egzoskeletona i njegovih dijelova.....	32

IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Milica Čarek (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom ROBOTSKA NEUROREHABILITACIJA (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Čarek  
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, Milica Čarek (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom ROBOTSKA NEUROREHABILITACIJA (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Čarek  
(vlastoručni potpis)