

# Primjena robotske neurorehabilitacije kod osoba s cerebralnom paralizom

---

**Drvosek-Kihas, Doris**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Education and Rehabilitation Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Edukacijsko-rehabilitacijski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:158:184781>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-04**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Education and Rehabilitation Sciences - Digital Repository](#)



Sveučilište u Zagrebu  
Edukacijsko-rehabilitacijski fakultet

## Diplomski rad

Primjena robotske neurorehabilitacije  
kod osoba s cerebralnom paralizom

Doris Drvosek-Kihas

Zagreb, rujan 2024.

Sveučilište u Zagrebu  
Edukacijsko-rehabilitacijski fakultet

## Diplomski rad

Primjena robotske neurorehabilitacije  
kod osoba s cerebralnom paralizom

Studentica: Doris Drvosek-Kihars

Mentorica: izv. prof. dr. sc. Renata Pinjatela

Zagreb, rujan 2024

## Izjava o autorstvu rada

Potvrđujem da sam osobno napisala rad **Primjena robotske neurorehabilitacije kod osoba s cerebralnom paralizom** i da sam njegova autorica.

Svi dijelovi rada, nalazi ili ideje koje su u radu citirane ili se temelje na drugim izvorima jasno su označeni kao takvi te su adekvatno navedeni u popisu literature.

Doris Drvosek-Kihás

Zagreb, rujan 2024.

## **Zahvale**

*Zahvaljujem svojoj mentorici, izv. prof. dr. sc. Renati Pinjатели na pristupačnosti, pomoći i stručnom usmjeravanju tijekom izrade ovog rada i cjelokupnog studiranja.*

*Veliko hvala svim profesorima i profesoricama te mentorima u praksi na trudu, razumijevanju i nesebičnom dijeljenju znanja.*

*Hvala djevojčicama Teni i Mariji te njihovim obiteljima na ukazanom povjerenju. Hvala vam što ste bili dio moje akademske priče te sa mnom slavili male i velike uspjehe zajedničkog rada.*

*Hvala mojim kolegicama i prijateljicama koje su mi tijekom studiranja bile „vjetar u leđa“, ispunjavale dane vedrinom i veseljem te vjerovale u mene onda kada ni sama nisam.*

*Posebne zahvale mojim curama sa Save i prijateljima iz Zadra na podršci kroz sve ove godine. Neizmjereno sam sretna, ponosna i zahvalna što me pratite na svakom koraku mog akademskog i životnog puta. Hvala i svim ostalim prijateljima iz doma na nezaboravnim druženjima i trenucima koje ću zauvijek pamtit.*

*I za kraj, najveće hvala mojoj obitelji, roditeljima, sestrama, bratu, bakama i djedovima na bezuvjetnoj ljubavi, strpljenju, odricanjima i podršci tijekom svih godina studiranja. Hvala vam što vjerujete u mene. Bez vas ništa od ovoga ne bi bilo moguće.*

**Naslov rada:** Primjena robotske neurorehabilitacije kod osoba s cerebralnom paralizom

**Ime i prezime studentice:** Doris Drvosek-Kihás

**Ime i prezime mentorice:** izv. prof. dr. sc. Renata Pinjatela

**Program/modul na kojem se polaže diplomski ispit:** Edukacijska rehabilitacija, modul Rehabilitacija, sofrologija, kreativne terapije i art/ekspresivne terapije

## **Sažetak**

Robotska neurorehabilitacija predstavlja jednu od novih mogućnosti u rehabilitaciji osoba s cerebralnom paralizom, a temelji se na korištenju robotskih uređaja i tehnologija kako bi se potaknula neuroplastičnost mozga te poboljšali motorički i funkcionalni ishodi.

Cerebralna paraliza (CP) definira se kao skupina trajnih, ali promjenjivih poremećaja pokreta i/ili položaja i motoričkih funkcija, a nastaje kao rezultat oštećenja nezrelog mozga i/ili mozga u razvoju.

Neuroplastičnost mozga objašnjava se kao sposobnost mozga da preoblikuje, mijenja i prilagođava svoju strukturu i funkciju kao odgovor na iskustvo tijekom cijelog života. Primjena robotske neurorehabilitacije temelji se na fenomenu neuroplastičnosti mozga, a glavni je cilj primjene robota u neurorehabilitaciji poboljšanje funkcionalne sposobnosti osoba, poboljšanje mobilnosti i samostalnosti kao i poboljšanje sveukupne kvalitete života.

Roboti i robotski sustavi pružaju osobama mogućnost izvođenja funkcionalnih pokreta i zadataka koje oni ne mogu izvesti sami. Izvođenjem tih pokreta, potiče se reorganizacija živčanog sustava, tj. moždana aktivnost, a u mozgu se stvaraju nove veze i neuronski krugovi. Primjena robotskih uređaja sve je više zastupljena kako u medicini tako i u ostalim djelatnostima pa se sukladno tome veliki značaj i financijska sredstva ulažu u napredak i razvoj ovog perspektivnog područja.

Cilj rada je predstaviti opise najčešće primjenjivih robotskih uređaja u neurorehabilitaciji osoba s cerebralnom paralizom te provjera učinkovitosti njihove primjene kroz pregled provedenih istraživanja u Europi i svijetu. Svrha rada je upoznavanje stručnjaka edukacijsko-rehabilitacijskog profila s različitim robotskim uređajima koji su zastupljeni u neurorehabilitaciji osoba s cerebralnom paralizom te proširivanje interesa za djelovanjem i radom u ovom području.

**Ključne riječi:** cerebralna paraliza, neuroplastičnost mozga, robotska neurorehabilitacija, robotski uređaji

**Title:** The application of robotic neurorehabilitation in individuals with cerebral palsy

**Name and surname of the student:** Doris Drvosek-Kihás

**Name and surname of the mentor:** Prof. Renata Pinjatela, PhD

**Study programme/Module:** Educational rehabilitation, Rehabilitation, Sophrology, Creative and Art/Expressive Therapies

### **Abstract**

Robotic neurorehabilitation represents one of the new possibilities in the rehabilitation of individuals with cerebral palsy. It is based on the use of robotic devices and technologies to stimulate brain neuroplasticity and enhance motor and functional outcomes.

Cerebral palsy (CP) is defined as a group of permanent, but variable, disorders of movement and/or posture and motor functions, resulting from damage to the immature or developing brain.

Neuroplasticity is explained as the brain's ability to reshape, modify, and adapt its structure and function in response to experiences throughout life. The application of robotic neurorehabilitation is based on the phenomenon of neuroplasticity, with the primary goal of using robots in neurorehabilitation being to improve functional abilities, enhance mobility and independence, and ultimately improve overall quality of life.

Robots and robotic systems provide individuals with the ability to perform functional movements and tasks that they cannot accomplish on their own. By performing these movements, the reorganization of the nervous system, or brain activity, is stimulated, leading to the creation of new connections and neural circuits in the brain. The use of robotic devices is increasingly prevalent not only in medicine but also in other fields, resulting in significant investments and resources being dedicated to the advancement and development of this promising area.

The aim of this paper is to present descriptions of the most commonly used robotic devices in the neurorehabilitation of individuals with cerebral palsy and to evaluate the effectiveness of their application through a review of conducted research in Europe and worldwide. The purpose of the paper is to familiarize professionals in the educational and rehabilitation field with various robotic devices used in the neurorehabilitation of individuals with cerebral palsy and to expand interest in working and engaging in this area.

**Keywords:** cerebral palsy, brain neuroplasticity, robotic neurorehabilitation, robotic devices

## Sadržaj

1.	Uvod.....	1
1.1.	Cerebralna paraliza .....	1
1.1.1.	Prevalencija .....	2
1.1.2.	Etiologija .....	3
1.1.3.	Klasifikacija.....	4
1.1.4.	Klinička slika.....	7
1.1.5.	Komorbiditet .....	7
1.1.6.	Dijagnostika.....	9
1.1.7.	Rehabilitacija .....	10
1.1.8.	Neuroplastičnost mozga .....	11
2.	Neurorehabilitacija.....	13
2.1.	Robotika u neurorehabilitaciji.....	14
2.2.	Robotska neurorehabilitacija gornjih ekstremiteta kod osoba s cerebralnom paralizom.....	16
2.2.1.	Armeo Spring .....	17
2.2.2.	Amadeo .....	18
2.2.3.	CosmoBot.....	21
2.2.4.	GloReha Sinfonia.....	22
2.2.5.	IOTA (The Isolated Orthosis for Thumb Actuation) .....	23
2.2.6.	InMotion2.....	24
2.3.	Robotska neurorehabilitacija donjih ekstremiteta kod osoba s cerebralnom paralizom .....	26
2.3.1.	Lokomat .....	27
2.3.2.	Andago.....	28
2.3.3.	Gait Trainer (GT-1 Reha-Stim) .....	30
2.3.4.	PerPedes .....	31
3.	Problemska pitanja.....	33
4.	Pregled istraživanja .....	33
5.	Prednosti korištenja robota u neurorehabilitaciji .....	39
6.	Nedostaci korištenja robota u neurorehabilitaciji .....	40
7.	Robotska neurorehabilitacija u RH .....	41
8.	Povezanost robotske neurorehabilitacije i edukacijske rehabilitacije .....	43
9.	Zaključak .....	44
10.	Literatura .....	45



# 1. Uvod

## 1.1. Cerebralna paraliza

Cerebralna paraliza definira se kao skupina trajnih motoričkih poremećaja pokreta i/ili položaja te motoričkih funkcija koja nastaje kao posljedica poremećaja funkcije mozga (Katušić, 2012). Naziv je to za neprogresivna, ali promjenjiva motorička oštećenja nastala uslijed lezija središnjeg živčanog sustava (Pospiš, 1999). Cerebralna paraliza smatra se jednim od najčešćih uzroka težih neuromotornih odstupanja, a klinički se očituje u ranoj dječjoj dobi gdje je uz različite simptome, uvijek prisutan usporen motorički razvoj (Mejaški-Bošnjak, 2007).

Zbog sve većeg napretka znanosti te otkrivanja novih spoznaja, definiranje i klasifikacija cerebralne paralize sagledava se iz više perspektiva (Katušić, 2012). Prijašnje definicije cerebralne paralize naglašavale su isključivo motorički aspekt ovog poremećaja, ne uzimajući u obzir iznimnu varijabilnost kliničke slike kao ni smanjenu mogućnost utvrđivanja etiologije (Katušić, 2012). Cerebralnoj paralizi često su pridružene nemotoričke razvojne teškoće kao što su poremećaji osjeta, kognicije, komunikacije, percepcije i ponašanja, ali i senzorne teškoće te sekundarni mišićnokoštani problemi (Chabrier i sur., 2020). Definicija cerebralne paralize posljednji je put obnovljena 2004. godine na Međunarodnom kongresu gdje je skupina stručnjaka, uz sagledavanje drugih poremećaja koji prate kliničku sliku cerebralne paralize, naglasila važnost definiranja poteškoća koje osoba s cerebralnom paralizom pokazuje tijekom obavljanja svakodnevnih životnih aktivnosti (Katušić, 2012). Funkcionalna ograničenja koje osoba ima prilikom izvođenja aktivnosti svakodnevnog života posljedica su poremećaja razvoja pokreta, posture i/ili motoričkih funkcija koji su uzrokovani poremećajem nezrelog mozga ili mozga u razvoju (Gulati i Sondhi, 2017).

1998. godine skupina europskih epidemiologa i kliničara osnovala je "Surveillance of Cerebral Palsy in Europe" (SCPE), najveću međunarodnu bazu podataka djece s cerebralnom paralizom. Osnovni cilj ove organizacije je praćenje kretanja prevalencije cerebralne paralize te pružanje podataka i preporuka za planiranje i provedbu terapijskih postupaka (SCPE, 2001). Najvažnijim priznanjima ove organizacije smatraju se

usklađivanje na domeni standarda, definicije i klasifikacije cerebralne paralize (SCPE, 2001).

Iako je oštećenje mozga koje uzrokuje cerebralnu paralizu neprogresivno, simptomi ovog poremećaja mogu se mijenjati uslijed procesa sazrijevanja, plastičnosti mozga, ali i brojnih terapijskih intervencija (Mejaški Bošnjak i Đaković, 2013). Kako bi se osobama s cerebralnom paralizom pružio oblik rehabilitacije koji najbolje odgovara njihovim potrebama i mogućnostima, nužan je multidisciplinarni tim stručnjaka te međusobna suradnja stručnjaka i užih članova obitelji (Santos i sur., 2023).

### **1.1.1. Prevalencija**

Učestalost cerebralne paralize procjenjuje se u rasponu između 1,5 do 3 na 1000 živorođene djece pri čemu veliku ulogu u prikupljanju ovih podataka ima prethodno spomenuta Europska organizacija SCPE (eng. Surveillance of Cerebral Palsy in Europe) koja sadrži registre djece s cerebralnom paralizom iz različitih europskih centara (Sadowska i sur., 2020). Osim zbog potrebe standardiziranja i usklađivanja definicija cerebralne paralize, ova je organizacija imala važnu ulogu u donošenju uključujućih i isključujućih kriterija pripadanja cerebralnoj paralizi s ciljem bolje međusobne suradnje stručnjaka, razumijevanju prirode same teškoće te unapređenju sustava skrbi i podrške djeci te njihovim obiteljima (Cans i sur., 2007). Stručnjaci koji sudjeluju u radu SCPE-a te se ujedno bave i utvrđivanjem incidencije cerebralne paralize, stručnjaci su iz različitih područja znanosti. Problematikom cerebralne paralize ondje se bave epidemiolozi, pedijatri, neonatalozi, ginekolozi, genetičari, kirurzi, ortopedi, specijalisti javnog zdravstva, fizioterapeuti, radni terapeuti, edukacijski rehabilitatori, logopedi, nutricionisti te socijalni radnici (Cans i sur., 2007).

Podaci o prevalenciji cerebralne paralize ovise o više rizičnih čimbenika među kojima se ističu razina zdravstvene zaštite, porođajna težina djeteta te gestacijska dob djeteta (Tegegne, 2023). Belgijski istraživači prikupili su rezultate istraživanja objavljenih u razdoblju od 1896. do 2006. godine te pokazali kako se incidencija cerebralne paralize kretala od 146 slučaja na 1000 živorođene djece u skupini djece rođene prije 28. tjedna trudnoće do 1,13 slučaja na 1000 živorođene djece u skupini djece rođene nakon 37. tjedna trudnoće (Himpens i sur., 2008). Osim gestacijske dobi djeteta, na učestalost pojave

cerebralne paralize utječe i njegova porođajna težina (Sadowska i sur., 2020). Kod novorođenčadi porođajne težine do 1500 g, učestalost pojave cerebralne paralize je 70 puta veća u odnosu na novorođenčad porođajne težine od 2500 g i više (SCPE, 2001). Zbog sve značajnijeg napretka medicine povećan je broj preživjele prijevremeno rođene djece te djece s niskom ili vrlo niskom porođajnom težinom (Vitrikas i sur., 2020). Kod ovih je novorođenčadi rizik za razvoj cerebralne paralize znatno veći pa se može zaključiti da pojavnost CP, unatoč napretku medicine te prenatalne skrbi, ostaje relativno stabilna (Paul. i sur., 2022).

U Republici Hrvatskoj, podaci o osobama s cerebralnom paralizom nalaze se u Registru osoba s invaliditetom. Prema zadnje objavljenim podacima (stanje na dan 02.05.2022.) u Registru je zabilježeno 4.928 osoba s cerebralnom paralizom. Prema ovim podacima, stopa prevalencije ove teškoće u Republici Hrvatskoj iznosi 1.5 na 1000 živorođene djece što je u skladu s prevalencijom cerebralne paralize u svijetu (Hrvatski zavod za javno zdravstvo, 2022).

### **1.1.2. Etiologija**

Kraguljac i sur. (2018) etiologiju cerebralne paralize definiraju kao nespecifičnu. Ranije se smatralo kako je glavni uzrok za pojavnost cerebralne paralize manjak kisika u mozgu djeteta tijekom poroda ili u perinatalnom razdoblju sve dok se nije utvrdila prisutnost mnogih drugih čimbenika rizika koji zajednički pridonose nastanku ovog poremećaja (Paul i sur., 2022). Dugo je bilo prisutno mišljenje kako učestalost cerebralne paralize uvelike ovisi o kvaliteti neonatne skrbi, no unatoč poboljšanju medicinske skrbi u tim područjima, prevalencija cerebralne paralize ostala je nepromijenjena (Reddihough i Collins, 2003). Reddihough i Collins (2003) navode kako su upravo prenatalni čimbenici odgovorni za nastanak cerebralne paralize kod većine djece (njih 75%) dok su ostali uzroci pojavnosti ove teškoće, čimbenici rizika u dojenčadi i novorođenčadi (10-18%). Čimbenici rizika mogu se podijeliti u nekoliko kategorija, a brojni od njih mogu uzrokovati oštećenja središnjeg živčanog sustava u ranoj fazi njegova razvoja (Gong i sur., 2023). Ružman i sur. (2019) navode kako se čimbenici rizika mogu javiti prenatalno (prije ili tijekom trudnoće), perinatalno (tijekom poroda) te postnatalno (nakon rođenja djeteta). Mirzakhani i sur. (2020) ističu važnost dobrih zdravstvenih i životnih uvjeta majke. Nastanak urođenih malformacija mozga te moždanih oštećenja kod djeteta može

biti posljedica prenošenja infekcija kao što su rubeola, herpes simplex ili citomegalovirus preko posteljice majke (Knežić, 2015). Nadalje, pušenje tijekom trudnoće kao i prekomjerni unos alkoholnih pića tijekom duljeg vremenskog perioda posljedično može dovesti do nastanka fetalnog alkoholnog sindroma, ali i povećanog rizika za rođenje djeteta niske porođajne težine kao i prijevremeno rođenog djeteta. Kao što je ranije spomenuto, prijevremeno rođena djeca u većem su riziku za pojavnost cerebralne paralize u odnosu na djecu rođenu u terminu (Knežić, 2015) iako medicinska literatura pokazuje da je oko polovice djece s dijagnozom cerebralne paralize rođeno u terminu (Ružman i sur., 2019). Osim intrauterinih infekcija i upali majke te uporabe alkoholnih pića i/ili lijekova tijekom trudnoće, u prenatalne čimbenike rizika ubrajaju se i kongenitalne malformacije središnjeg živčanog sustava, blizanačka trudnoća, intrauterini zastoj rasta, abnormalna pozicija fetusa te anomalije posteljice (Sankar i Mundkur., 2005). Jedna od najčešćih patologija mozga koja dovodi do nastanka cerebralne paralize tijekom ranog trećeg tromjesečja je periventrikularna ozljeda mozga (Towsley i sur., 2011). Perinatalni čimbenici rizika koji nastaju tijekom poroda uključuju težak porod, infekcije tijekom poroda, asfiksiju, hipoksiju i brojne druge komplikacije (Radojičić, 1985. prema Ružman i sur., 2019). U postnatalnom periodu života djeteta čimbenici koji uzrokuju cerebralnu paralizu su traume mozga, novorođenačke konvulzije, infekcije, meningitis, sepsa (Reddihough i Collins, 2003). Paul i sur. (2022) navode kako su u 70% slučajeva nastanka cerebralne paralize odgovorni prenatalni čimbenici dok su u 92% slučajeva uzroci nastanka cerebralne paralize perinatalni čimbenici rizika. Učestalost i težina neurorazvojnih poremećaja kod djece s cerebralnom paralizom povezani su s trajanjem trudnoće. Što je trudnoća kraća, to su teškoće više izražene (Sadowska i sur., 2020). Simptomi koji mogu pobuditi sumnju roditelja da njihovo dijete pokazuje znakove cerebralne paralize uključuju slabu kontrolu glave nakon tri mjeseca starosti, hipertoniju (pretjeranu napetost) ili hipotoniju (smanjenu napetost/mlohavost) mišića, nesposobnost sjedenja bez potpore od 8. mjeseca starosti, otežano disanje, sisanje i gutanje koje može biti uzrokovano lezijom mozga te korištenje samo jedne strane tijela (Morgan i sur., 2021).

### **1.1.3. Klasifikacija**

Postoje brojne klasifikacije cerebralne paralize zbog iznimne heterogenosti ove skupine motoričkih poremećaja. S obzirom da ozljeda mozga u razvoju može nastati zbog brojnih

uzroka i manifestirati se u različite kliničke slike, cerebralna paraliza se tijekom vremena klasificirala na više načina ovisno o vrsti poremećaja pokreta, području zahvaćenosti te težini oštećenja (Paul i sur., 2022). Najčešće su se primjenjivale klasifikacije koje je 1995. godine predložio Ingram i 1976. godine Hagberg. Ingramova klasifikacija nudila je podjelu prema tipu neurološkog sindroma i njegovoj lokaciji te je uključivala diplegiju, hemiplegiju i tetraplegiju, ataksiju, diskineziju i mješoviti tip. U svim spomenutim tipovima poremećaji kretanja mogu varirati ovisno o zahvaćenosti dijela tijela te se sukladno tome cerebralna paraliza klasificirala kao blaga, umjerena ili teška (Balf i Ingram, 1955. prema Sadowska i sur., 2020). S druge strane Hagbergova klasifikacija uključuje spastične sindrome, ekstrapiramidalne (diskinetske) sindrome te ataksiju (Hagberg i sur., 1976. prema Sadowska i sur., 2020).

Zbog postojanja mnogih različitih podjela javila se potreba za njihovim ujedinjavanjem te stvaranjem jedne pojednostavljene stoga je SCPE predložio klasifikaciju cerebralne paralize na osnovu neuroloških simptoma. Klasifikacija se temelji na tri tipa: spastični, diskinetski i ataksični te na podtipove: unilateralni i bilaterani spastični te distonični i koreo-atetotični diskinetski podtip (McKinnon i sur., 2020). Unilateralni spastični tip obuhvaća termine hemipareze dok bilateralni spastični tip obuhvaća termine dipareze i tetrapareze (Katušić, 2012). U svakom je od navedenih tipova cerebralne paralize prisutan abnormalan obrazac položaja i pokreta, uz dodatne specifičnosti. Prema bazi podataka mreže registara CP, 88% osoba ima spastični tip CP, 7% osoba ima diskinetski tip CP, 4% osoba ima ataksični tip CP dok 1% osoba s CP nije moguće klasificirati ni u jedan od prethodno spomenutih tipova i podtipova (Krageloh Mann i Cans, 2009. prema Katušić, 2012).

Topografska klasifikacija nije u potpunosti mogla dati jasnu i preciznu razliku između pojedinih tipova cerebralne paralize stoga SCPE (2001) predlaže novu klasifikaciju koja se temelji na funkcionalnom stupnjevanju gornjih i donjih ekstremiteta. Za funkcionalno stupnjevanje gornjih ekstremiteta upotrebljava se klasifikacijski sustav bimanualnih finih motoričkih funkcija-Bimanual Fine Motor Function (BFMF) dok se za funkcionalno stupnjevanje donjih ekstremiteta upotrebljava klasifikacijski sustav grubih motoričkih funkcija-Gross Motor Function Classification System (GMFCS) (Scime i sur., 2017). Osim navedenih, sve se više koristi i klasifikacijski sustav manualnih sposobnosti-Manual Ability Classification System (MACS) (Scime i sur., 2017).

S obzirom da je cerebralnu paralizu potrebno sagledavati u kontekstu funkcionalnih ograničenja koje osoba ima prilikom izvođenja aktivnosti svakodnevnog života, navedeni klasifikacijski sustavi daju jasan pregled trenutne razine mogućnosti i ograničenja koje osoba posjeduje. GMFCS klasifikacijski sustav predstavlja temelj za opisivanje motoričke sposobnosti osobe s CP, a temelji se na voljno izazvanim pokretima kao što su sjedenje, transfer i pokretljivost (Kraguljac i sur., 2018). Ovaj sustav klasificira grube motoričke funkcije donjih ekstremiteta osobe unutar 5 razina, a razina na kojoj se osoba nalazi pokazuje koliko je ona samostalna prilikom obavljanja određenih aktivnosti. Svaka od pet razina opisuje motoričko funkcioniranje djece različite kronološke dobi kroz 5 skupina: prije 2. godine, od 2. do 4. godine, od 4. do 6. godine, od 6. do 12. godine te od 12. do 18. godine (Compagnone i sur., 2014). GMFCS klasifikacijski sustav stručnjacima, ali i roditeljima pruža točan uvid u djetetovu trenutnu razinu motoričkog funkcioniranja te je izvrstan za određivanje daljnjih ciljeva te prilagodbu okoline kako bi osoba što bolje obavljala svakodnevne životne aktivnosti (Katušić i sur., 2019). Klasifikacijski sustavi BFMF i MACS opisuju načine na koje osoba s CP rukuje predmetima tijekom dnevnih aktivnosti. MACS klasifikacijski sustav sastoji se od 5 razina te se primjenjuje kod djece u dobi od 4. do 18. godine života (Ogoke, 2018). Ovaj se sustav upotrebljava za procjenu manualnih sposobnosti, a proizašao je iz BFMF klasifikacijskog sustava koji se u praksi koristi za procjenu fine motorike gornjih udova (Elvrum i sur., 2022). Odabir klasifikacijskog sustava finih motoričkih funkcija koji najviše odgovara određenoj osobi ovisit će o podtipu CP koji ta osoba ima (Katušić, 2012).

Osim navedenih klasifikacijskih sustava, Piscitelli i sur. (2021) navode klasifikacijski sustav govornih funkcija-Communication function classification system (CFCS) dok Bykova i sur. (2023) opisuju klasifikacijski sustav sposobnosti za hranjenje i pijenje-Eating and Drinking Ability Classification System (EDACS). CFCS se koristi za klasificiranje svakodnevnih komunikacijskih vještina osobe s CP u jednu od pet razina prema njenoj učinkovitosti (Piscitelli i sur., 2021). Nadalje, EDACS klasifikacijski sustav opisuje mogućnosti i ograničenja osobe s CP tijekom vještina hranjenja i pijenja. Koristi se za djecu nakon 3 godine starosti te se također sastoji od 5 razina. Ovim razinama dodatno se pridružuju 3 razine kojima je cilj utvrditi koliko je pomoći potrebno djetetu s CP prilikom obavljanja tih aktivnosti (Bykova i sur., 2023).

Pored SCPE klasifikacije, skupina stručnjaka iz međunarodne mreže registara CP predložila je upotrebu četiri dimenzije klasifikacije koje uključuju: opis motoričkog

poremećaja, prisustvo ili odsustvo dodatnih poteškoća, anatomsku distribuciju svih dijelova tijela, nalaze slikovnih prikaza mozga te posljednje, uzrok i vrijeme (Rosenbaum i sur., 2006, prema Katušić, 2012).

#### **1.1.4. Klinička slika**

Rani znakovi koji mogu upućivati na pojavnost cerebralne paralize uključuju hipotoniju ili hipertoniju muskulature te usporen razvoj motorike (Kraguljac i sur., 2018). Glavne poteškoće koje se mogu javiti kao posljedica poremećenog mišićnog tonusa kod osoba s CP su poteškoće s ravnotežom te koordinacijom (Paul i sur., 2020). Osim ovih znakova, Mejaški Bošnjak i Đaković (2013) navode i poremećaj refleksa koji se očituje već od dojenačke dobi. Primitivni refleksi su kod ove djece abnormalni te duže prisutni. Iako prvih mjeseci života dijete može imati smanjeni mišićni tonus, Kraguljac i sur. (2018) navode kako tri četvrtine djece s dijagnozom cerebralne paralize razvije spastičnost. Od ostalih znakova koje je moguće zamijetiti u ranome djetinjstvu važno je spomenuti razdražljivost djeteta, plač visokih tonova, slabo sisanje, slabu kontrolu glave, preferenciju jedne strane tijela te oralnu preosjetljivost (Mishra i sur., 2022). Ove znakove najčešće prvi zamijete roditelji s kojima dijete u ranoj dobi provodi najviše vremena. Težina oštećenja ovisit će o stupnju neurološkog oštećenja, ali s obzirom da je oštećenje mozga koje uzrokuje CP neprogresivno, raznim se terapijskim postupcima može utjecati na promjenu simptoma (Mejaški Bošnjak i Đaković, 2013).

#### **1.1.5. Komorbiditet**

Tijekom procjene snaga i mogućnosti osoba s CP, ali i njihovih potreba, potrebno je uzeti u obzir sve aspekte funkcionalnog ograničenja, a ne samo motoričke teškoće. Usporen razvoj motorike često je udružen s drugim zdravstvenim teškoćama koje se mogu javiti kod ove skupine, a koje uvelike utječu na razvoj te općenito stanje i funkcioniranje osobe (Kraguljac, 2018). S obzirom da su motoričkim teškoćama pridružene i senzoričke, kognitivne te komunikacijske teškoće kao i teškoće na području socijalne interakcije, nužan je multidisciplinarni tim stručnjaka kako bi se povećala uspješnost planiranja

terapijskih intervencija te samostalnost osobe prilikom obavljanja aktivnosti svakodnevnog života (Bekteshi i sur., 2023).

Cooper i sur. (2023) navode kako je kod osoba s CP često prisutna epilepsija te da njena učestalost ovisi o vrsti CP. Pojavnost ove teškoće najveća je kod tetrapareze (50-94%) i hemipareze (33-50%) dok se rijede pojavljuje kod dipareze i ataksičnog tipa CP (16-27%) (Wallace, 2001 prema Sadowska i sur., 2020). Osim epilepsije, kod osoba s dijagnozom CP mogu biti prisutne i kognitivne teškoće (Fluss i Lidzba, 2020). Rizik za prisutnost kognitivnih teškoća veći je što je ozbiljniji stupanj motoričkog oštećenja (Fluss i Lidzba, 2020). Intelktualne teškoće izravno utječu na kvalitetu života osobe s CP, obavljanje svakodnevnih aktivnosti te učinkovitost planiranih intervencija (Almasri i Alquaqzeh, 2023). Nadalje, osobe s CP mogu imati gastrointestinalne poteškoće kao i poteškoće s hranjenjem što može voditi do pothranjenosti s obzirom da je održavanje primjerene prehrane oralnim putem otežano (McAllister i sur., 2022). Gastrointestinalne teškoće mogu utjecati na pravilno probavljanje hrane te unos tvari potrebnih za rast i razvoj (Kraguljac i sur., 2018). Osim posljedica koje nedovoljan unos hranjivih tvari može imati na rast i razvoj osobe, važno je spomenuti i druge poteškoće koje se mogu javiti ukoliko unos tih tvari nije zadovoljavajuć. To su prije svega poteškoće imunoloških funkcija te oslabljena cirkulacija (Sharova i sur., 2021).

Darling-White i sur. (2018) prema Sadowska i sur.(2020) navode kako više od 50% osoba s CP pokazuje neku vrstu govornih teškoća (dizartrija/anartrija, dispraksija/apraksija) pri čemu je iznimno važno uključiti osobu u logopedsku terapiju. Nadalje, logopedске vježbe nužne su kod osoba koje imaju poteškoća s oralnom motorikom što je česta pridružena teškoća kod osoba s CP (Acar i sur., 2022). Zbog slabosti i slabe koordinacije usana, jezika i mišića lica kod ove populacije može doći do hipersalivacije, disfagije i disartrije (Kraguljac i sur., 2018).

Pridružene teškoće koje se mogu javiti kod osoba s CP su senzoričke teškoće koje uključuju auditivne i vizualne teškoće te teškoće taktilne i vestibularne percepcije (Jovellar-Isiegas i sur., 2020). Jedna od najčešćih pridruženih teškoća koja prati dijagnozu CP je (cerebralno) oštećenje vida stoga je u ranoj dobi djeteta vrlo važno obaviti procjene kako bi se otkrilo moguće postojanje teškoća te na vrijeme krenulo s terapijskim intervencijama (Rauchenzauner i sur., 2021). Do poteškoća s vidom dolazi zbog zahvaćenosti vidnih putova, a najčešće se kod djece s CP može uočiti strabizam te



retinopatija nastala uslijed prijevremenog poroda (Kraguljac i sur., 2018). Osim poteškoća s vidom, kod djece s CP prisutne mogu biti i teškoće sluha (Dufresne i sur., 2014).

### **1.1.6. Dijagnostika**

Dijagnoza cerebralne paralize dobiva se na temelju kliničke slike, povijesti i tijeka bolesti te zahtijeva dugo razdoblje promatranja zbog promjenjivosti kliničkog nalaza (Mejaški Bošnjak, 2007). Upravo je ovo razlog zbog kojega dijagnozu CP ne bi trebalo postavljati prije 4. godine djetetova života (Pham i sur., 2020). Postavljanje rane dijagnoze može dovesti do pogrešnog tumačenja simptoma te posljedično ka donošenju neispravne dijagnoze (Cans i sur., 2007). Zbog složenosti stanja CP te izbjegavanja pogrešaka u dijagnosticiranju, provode se brojni testovi i procjene, analizira se tijek razvoja djeteta te se provodi intervju s roditeljima s ciljem kompletnog uvida u stanje djeteta (Guimarães i sur., 2023).

Iako se postavljanje dijagnoze CP ne preporuča prije navršene 4. godine djetetova života, nužno je identificiranje i praćanje djece s neurološkim odstupanjima. Simptomi i znakovi koji ukazuju na mogućnost nastanka CP prisutni su već od ranog djetinjstva te je vrlo važno njihovo uočavanje kako bi se djecu što ranije uključilo u odgovarajući oblik rehabilitacijskog programa (Mendoza-Sengco i sur., 2023). Ukoliko se prisutnost simptoma i znakova ne uoči dovoljno rano te se ne krene s intervencijom, moguće je lošije funkcioniranje djeteta i njegove obitelji u budućnosti (Sadowska i sur., 2020). Zahvaljujući pravovremenoj intervenciji, maturaciji te plastičnosti mozga malog djeteta, tijekom bolesti može se usporiti (Morgan i sur., 2021). Također, može se spriječiti nastanak sekundarnih poteškoća te poboljšati kvaliteta života djeteta, ali i njegove obitelji (Wimalasundera i Stevenson, 2016).

U kliničkoj praksi ne postoji samo jedan test za dijagnostiku CP već je postavljanje dijagnoze ovog poremećaja složen i zahtjevan proces. Pri donošenju dijagnoze CP sudjeluje cijeli tim stručnjaka (fizijatar, oftalmolog, ORL, ortoped, psiholog, logoped) koji obavlja preglede djeteta. Ovi pregledi nadopunjuju se razvojnim neurološkim pregledom te dijagnostičkim pregledima od kojih se najčešće provodi magnetska rezonancija (MR) (Mejaški Bošnjak, 2007). Magnetska rezonancija neinvazivna je dijagnostička metoda koja daje jasan slikovni prikaz mozga te ukazuje na mogućnost postojanja različitih stanja

ili bolesti (Novak i sur., 2017). Krägeloh-Mann i Horber (2007) prema Mejaški Bošnjak i Đaković (2013) navode kako je MR u čak 86% djece s CP dala točnu informaciju o patogenetskom uzroku oštećenja mozga koje je dovelo do nastanka CP.

### **1.1.7. Rehabilitacija**

Najbolji ishodi rehabilitacije osoba s cerebralnom paralizom bit će ostvareni ako u njima sudjeluje multidisciplinarni tim stručnjaka koji zajednički donosi odluke te predlaže tretmane s ciljem poboljšanja općeg stanja oboljelih osoba (Trabacca i sur., 2016). Važno je istaknuti da ne postoji univerzalni rehabilitacijski tretman koji odgovara svakoj osobi s CP već je prilikom uvođenja tretmana koji će najbolje odgovarati pojedinoj osobi, važno uzeti u obzir njene individualne karakteristike (McCoy i sur., 2020). Danas se u rehabilitaciji osoba s CP nudi širok spektar programa i intervencija, a najčešće se primjenjuje kombinacija više različitih terapijskih programa koji se kreiraju individualno za svako dijete (McCoy i sur., 2020). Individualni plan liječenja nastaje suradnjom stručnjaka, a to su neuropedijatar ili neurofiziatar, ortoped, edukacijski rehabilitator, logoped, oftalmolog, psiholog, fizioterapeut i radni terapeut. Ostali stručnjaci mogu biti uključeni u rehabilitacijski proces ukoliko postoji potreba za njihovom intervencijom s obzirom na specifičnost kliničke slike (Kraguljac i sur., 2018). Uz stručnjake koji su uključeni u rad i rehabilitaciju osoba s CP nužno je uključiti i roditelje te uže članove djetetove okoline s ciljem zajedničke suradnjei bržeg napretka (Trabacca i sur., 2016). S rehabilitacijom je potrebno krenuti što ranije dok je mogućnost nastanka promjena u središnjem živčanom sustavu najveća. U ranim fazama razvoja djeteta pokazan je najviši stupanj plastičnosti mozga pa je to vrijeme najpogodnije za terapijske intervencije (Hilderley i sur., 2023). Kod osoba s CP ciljevi rehabilitacije usmjereni su na ublažavanje komplikacija uzrokovanih CP te na poboljšanje postojećih, ali i usvajanje novih vještina (Kraguljac i sur., 2018). Lipson Aisen (2011) kao osnovni cilj rehabilitacije osoba s CP navodi očuvanje zdravlja u kontekstu primarnih i sekundarnih neuroloških komplikacija. Ciljevi rehabilitacije osoba s CP promijenili su se s vremenom pa se od početnog usmjeravanja isključivo na poboljšanje motoričkih vještina djeteta, tretman danas sve više usmjerio na poticanje cjelokupnog razvoja osobe (Kraguljac i sur., 2018).

Najučestalije rehabilitacijske metode koje se primjenjuju kod osoba s CP uključuju fizikalnu terapiju (neurorazvojni tretman-Bobath terapija i tretman refleksne lokomocije-Vojta) čiji je osnovni cilj povećanje funkcionalnih vještina osobe, sprječavanje nastanka kontraktura, poboljšanje samostalnosti te jačanje izdržljivosti (Ungureanu i sur., 2022). Logopedске terapije važan su oblik rehabilitacije kod osoba s CP kod kojih su prisutni problemi s glasom i govorom što se može očitovati kao dispraksija ili dizartrija, problemi s jezikom i komunikacijom kao i poteškoće s hranjenjem (Kraguljac i sur., 2018). Kao jedna od mogućnosti rehabilitacije osoba s CP je i hipoterapija čiji su pozitivni učinci kod osoba s CP vidljivi u poboljšanom držanju, koordinaciji, ravnoteži te povećanju pokretljivosti, snage i opsega pokreta (Stojnović, 2015). Uz navedene rehabilitacijske metode, važno je spomenuti i konduktivnu edukaciju. Ova je metoda namijenjena osobama s poremećajima nastalim oštećenjem središnjeg živčanog sustava pa se uz rehabilitaciju osoba s CP, primjenjuje i kod osoba oboljelih od Parkinsonove bolesti, multiple skleroze kao i kod osoba sa spinom bifidom (Anttila i sur., 2008).

Zbog sve ubrzanijeg napretka tehnologije, u (neuro)rehabilitaciji osoba s CP razvijaju se novi terapijski pristupi od kojih se ističe primjena robotskih uređaja. Ovo se područje znanosti jako brzo razvija, no iako je robotska neurorehabilitacija relativno nov terapijski pristup u rehabilitaciji osoba s neurološkim oštećenjima, prednosti njene primjene su brojne (Sharma i sur., 2023). Robotska neurorehabilitacija temelji se na fenomenu neuroplastičnosti mozga, a glavni je cilj primjene robota u neurorehabilitaciji poboljšanje funkcionalne sposobnosti osoba, poboljšanje mobilnosti i samostalnosti kao i poboljšanje sveukupne kvalitete života osoba (Riener, 2013). Upotreba i važnost primjene tehnologije u radu s osobama s različitim bolestima i oštećenjima sve je više prepoznata među stručnjacima, kako u svijetu tako i u Republici Hrvatskoj. U daljnjem tekstu rada bit će navedeni robotski uređaji koji se koriste u rehabilitaciji osoba s CP te dosadašnje spoznaje o učinkovitosti primjene robotske neurorehabilitacije pregledom postojećih istraživanja o navedenoj problematici.

### **1.1.8. Neuroplastičnost mozga**

Brojni su autori tijekom povijesti opisivali neuroplastičnost mozga te nudili različite definicije s ciljem jasnijeg i točnijeg razumijevanja ovog fenomena. Prvi je svoju teoriju o

neuroplastičnosti mozga predložio William James u radu „Principi psihologije“ navodeći sposobnost ljudskog mozga za kontinuiranim funkcionalnim promjenama (James, 1890. prema Demarin, Morović i Béné, 2014). Kanadski psiholog Donald Hebb tvrdio je da promjene električnih svojstava jednog neurona mogu stimulirati susjedne sinapse, stvarajući na taj način nove veze između neurona. Osim stvaranja novih veza, neuroplastičnost mozga omogućuje neuronima promjenu njihovih električnih svojstava kako bi prilagodili svoju komunikaciju s drugim neuronima (Hebb, 1958. prema Demarin i Morović i Béné, 2014). Paul Bach y-Rita je liječenje svojih pacijenata temeljio na neuroplastičnosti mozga smatrajući da zdravi dijelovi mozga mogu preuzeti funkcije ozlijeđenih dijelova (Bach y-Rita, 1972. prema Demarin, Morović i Béné, 2014). Neuroznanstvenik koji je ostavio veliki trag na području neuroplastičnosti mozga je i Michael Merzenich koji je prozvan „ocem plastičnosti“ zbog brojnih provedenih istraživanja koja su potvrdila da je ljudski mozak „plastičan“ te mu omogućila razvijanje znanstveno utemeljenih intervencija s ciljem poboljšanja stanja pacijenata (Shaffer, 2016).

Neuroplastičnost, također poznata i kao neuralna plastičnost ili plastičnost mozga proces je koji uključuje adaptivne, strukturne i funkcionalne promjene u mozgu (Puderbaugh i Emmady, 2023). To je sposobnost živčanog sustava da promijeni svoju aktivnost kao odgovor na unutarnje ili vanjske podražaje reorganizacijom svoje strukture, funkcija ili veza (Mateos Aparicio i Rodriguez Moreno, 2019). Voss i sur. (2017) plastičnost mozga definiraju kao sposobnost mozga da se mijenja i prilagođava svoju strukturu i funkciju kao odgovor na doživljeno iskustvo. Mašić i sur. (2020) govore o neuroplastičnosti kao mogućnosti neurona da stvaraju nove veze i puteve. Također, neuroplastičnost mozga opisuju kao sposobnost mozga da mijenja vlastitu molekularnu, mikroarhitektonsku i funkcionalnu organizaciju, ali i da se reorganizira kao odgovor na maturaciju, iskustvo, usvajanje novih vještina te deprivaciju i traumu (Mašić i sur., 2020). Kao odgovor na oštećenje ili ozljedu, naš se mozak kontinuirano modificira kako bi se što bolje prilagodio novonastaloj situaciji nastojeći kompenzirati izgubljenu funkciju stvaranjem novih živčanih stanica i/ili uspostavljanjem novih veza između postojećih stanica (Demarin, Morović i Bene, 2014).

Sposobnost mozga da se reorganizira kao odgovor na doživljeno iskustvo ili traumu prisutna je tijekom cijelog života iako se ranije smatralo da se neuroplastičnost mozga događa samo tijekom ranog razvoja djetetova života (Lenz i sur., 2021). Reorganizacija struktura mozga odvija se i kod djece i kod odraslih osoba, ali su promjene koje se

dogadaju u razvoju mozga djeteta puno izraženije u odnosu na promjene kod osoba starije životne dobi (Tierney i Nelson, 2009). Asby (2018) ističe kako je neuroplastičnost najistaknutija tijekom prvih 5 godina života te da je to period kada se djeca najbrže mogu odviknuti od negativnih navika i rutina te ih zamijeniti onim pozitivnima. Ova spoznaja važna je zbog pravovremene rehabilitacije osoba kod kojih postoje ozljede mozga, a upravo je neuroplastičnost temelj na kojem se baziraju suvremene neurorehabilitacijske metode kojima je cilj očuvanje, povratak ili stjecanje funkcija potrebnih za neovisan život (Oljača i sur., 2016). Koncepti suvremene neurorehabilitacije ističu ne postojanje čvrstih veza u mozgu, mogućnost mijenjanja moždanih stanica i njihovih veza tijekom života kao i nepostojanje dobne granice za reorganizaciju mozga i njegovih funkcija (Oljača i sur., 2016).

## **2. Neurorehabilitacija**

Ozbiljan motorički i/ili senzorički gubitak ili oštećenje uzrokovano ozljedama mozga ili neurološkim poremećajima može znatno utjecati na kvalitetu života osobe te dovesti do nemogućnosti obavljanja jednostavnih aktivnosti (Kanchan i sur., 2018). Među neurološkim pacijentima česta su oštećenja gornjih i donjih ekstremiteta što dovodi do smanjenja funkcije i koordinacije udova, kontrole hoda i ravnoteže te teškoća prilikom planiranja pokreta (Iandolo i sur., 2019). Termin neurorehabilitacija koristi se za opisivanje grane medicine koja se bavi prevencijom, dijagnostikom, liječenjem i rehabilitacijom osoba svih dobnih skupina koje su doživjele neurološka oštećenja ili oboljenja (Oberholzer i Müri, 2019). Osnovni je cilj neurorehabilitacije povećati fizičku, psihičku, socijalnu, rekreativnu i edukacijsku sposobnost osoba s obzirom na njihovo oštećenje, ograničenja okoline te osobne želje i ciljeve (Schnurrer-Luke-Vrbanić, 2022). Oštećenja živčanog sustava zahtijevaju kvalitetno, kontinuirano i intenzivno provođenje neurorehabilitacijskih postupaka, a rano započinjanje s neurorehabilitacijskim postupcima dovest će do povećanja ishoda liječenja te osobi omogućiti bolje svakodnevno funkcioniranje (Schnurrer-Luke-Vrbanić, 2022).

## 2.1. Robotika u neurorehabilitaciji

Posljednjih desetljeća sve se više razvija robotska tehnologija kako bi se osobama olakšao i ubrzao proces neurorehabilitacije. Općenito, primjena robotskih uređaja sve je više zastupljena kako u medicini tako i u ostalim djelatnostima pa se sukladno tome veliki značaj i financijska sredstva ulažu u napredak i razvoj ovog perspektivnog područja (Nikolić, 2016). Robotska tehnologija naziv je koji se koristi za mehatronički uređaj koji može utjecati na ponašanje pacijenta, optimizirati i ubrzati njegov oporavak te poboljšati kvalitetu života i samostalnost osobe (Gassert i Dietz, 2018). Robotski sustavi i uređaji dio su specijaliziranih neurorehabilitacijskih programa, a njihove tehničke mogućnosti i učinkovitost predmet su brojnih znanstvenih istraživanja današnjice (Schnurrer-Luke-Vrbanić, 2022).

Terapija uz pomoć robotskih uređaja relativno je mlado i brzo rastuće područje koje se koristi u neurorehabilitaciji osoba s oštećenjem središnjeg živčanog sustava (Gessert i Dietz, 2018). Glavni je cilj primjene robota u terapiji pružanje mogućnosti za aktivnu izvedbu pokretate stvaranje prilika za motoričko učenje (Baniček Šoša i sur., 2017). Robotski uređaji omogućavaju osobama pravilno izvođenje zadanog motoričkog zadatka. Ispravno izvođenje neke radnje i vježbanje određenog slijeda pokreta osigurava stvaranje novih veza u mozgu te dovodi do veće uspješnosti u izvođenju specifičnog pokreta, tj. zadatka (Ivanova i sur., 2017). O tome koji će robotski uređaj najbolje odgovarati pojedinoj osobi ovisi ponajprije o specifičnosti njegova oštećenja te osobnim ciljevima oporavka. Ne postoji univerzalni robotski uređaj koji će kod svih osoba s određenom dijagnozom dovesti do napretka u izvođenju funkcionalnih vještina već se odluka o primjeni nekog uređaja donosi individualno za svaku pojedinu osobu. Robotski uređaji koriste se u kombinaciji s drugim terapijskim pristupima te služe kao dopuna konvencionalnim rehabilitacijskim programima (Sharma i sur., 2023).

Danas se na tržištu mogu pronaći robotski uređaji koji u procesu neurorehabilitacije pružaju mogućnost aktivnog i pasivnog sudjelovanja osobe ovisno o vrsti podrške koja joj je potrebna (Atashzar i sur., 2019). Upotreba robotskih uređaja koji omogućavaju aktivno sudjelovanje osobe u rehabilitacijskom procesu više se preporuča, posebice kod osoba kod kojih im motoričko stanje to dopušta (Baniček Šoša i sur., 2017). Kako bi osoba što bolje i brže ostvarila zadane rehabilitacijske ciljeve, robotski uređaj koji osoba koristi mora biti u potpunosti prilagođen njenim potrebama, a opseg pokreta koji se izvodi tijekom tretmana

robotskim uređajem treba biti što sličniji opsegu pokreta koji se izvodi tijekom tretmana s terapeutom (Baniček Šoša i sur., 2017). Roboti i robotski sustavi pružaju osobama mogućnost izvođenja funkcionalnih pokreta i zadataka koje oni ne mogu izvesti sami. Izvođenjem tih pokreta, potiče se reorganizacija živčanog sustava, tj. moždana aktivnost, a u mozgu se stvaraju nove veze i neuronski krugovi (Karabegović i sur., 2013).

Kao što je već ranije spomenuto, cerebralna paraliza se na temelju neuroloških simptoma dijeli u više tipova i podtipova, a svima je zajednički abnormalni obrazac položaja i pokreta (Pavone i Testa, 2015). Svaki tip i podtip CP međusobno se razlikuje pokazujući karakteristične specifičnosti i obrasce ponašanja koji ga razlikuju od drugih tipova i podtipova. Prema SCPE klasifikaciji, spastični tip CP karakterizira pojačana napetost mišića, prisutnost patoloških refleksa, hiperfleksija te patološka postura udova (Barrett i Lichtwark, 2010). Diskinetski tip CP obilježen je nevoljnim, nekontroliranim i ponavljajućim pokretima te napetošću mišića koja može varirati i mijenjati se tijekom vremena, tj. povećavati se ili smanjivati (Sanger i sur, 2010). Diskinetski tip CP nastaje zbog oštećenja bazalnih ganglija, a dijeli se na dva podtipa: koreo-atetoični podtip kojemu je glavna značajka izmjena brzih, trzajnih i nevoljnih pokreta sa sporim i uvijajućim pokretima te na distoni podtip kojega također karakteriziraju nevoljni pokreti, ali uz prisutnost abnormalnih položaja tijela (Li i Arya, 2022). Posljednji tip CP je ataksični tip kojega je moguće prepoznati prema smanjenoj koordinaciji mišića te preciznim i ritmički usklađenim pokretima. Do ataksičnog tipa CP dolazi uslijed oštećenja malog mozga. Nadalje, ovaj tip CP kod osoba uzrokuje poteškoće s ravnotežom, pozicioniranjem u prostoru te tremor (Krägeloh-Mann i Horber, 2007).

Poznavanje tipova i podtipova CP te njihovih karakteristika uvelike pomaže stručnjacima da postave rehabilitacijske ciljeve sukladne ograničenjima i mogućnostima osobe te da ovisno o tome odaberu prikladan rehabilitacijski tretman koji će dovesti do napretka u željenom području razvoja. Odabir prikladnog rehabilitacijskog programa može uključivati i odabir robotskog uređaja, a za to je uz poznavanje karakteristika i kliničke slike osobe, važno i poznavanje robota te indikacija i kontraindikacija njihove primjene kako bi se odabrao onaj uređaj kojinajbolje odgovara postavljenim ciljevima rehabilitacije, ali i specifičnostima osobe.

Napredak tehnologije doveo je do širokog raspona mogućnosti u poboljšanju motoričkih stanja uzrokovanih CP te općenito neurorehabilitaciji osoba s oštećenjem središnjeg

živčanog sustava (Faccioli i sur., 2023). Posljednjih se godina uz dokazivanje učinkovitosti konvencionalnih rehabilitacijskih metoda, brojnim istraživanjima pokazala i učinkovitost primjene robotskih uređaja za poboljšanje sposobnosti hoda i vještina donjih ekstremiteta kao i fine motorike gornjih ekstremiteta kod osoba s CP (Cimolin i sur., 2019). Roboti i robotski uređaji koji se koriste u neurorehabilitaciji prvotno su bili osmišljeni i razvijeni za odrasle osobe, ali se nakon tehnoloških prilagodbi danas sve učestalije primjenjuju i u pedijatrijskom području (Gonzales i sur., 2021). Osim podjele robota na robote za donje i gornje ekstremitete, roboti se u rehabilitaciji dijele na endogene i egzoskeletne (Laut i sur., 2016). Endogeni robotski uređaji ili end-effector roboti vezani su za kranji dio ekstremiteta, a pomiču samo stopala ili dlanove dok su egzoskeletni roboti povezani paralelno za ekstremitet pacijenta te na taj način omogućavaju pomicanje svih zglobova u ekstremitetu (Erjavec i sur., 2019).

## **2.2. Robotska neurorehabilitacija gornjih ekstremiteta kod osoba s cerebralnom paralizom**

Oštećenja gornjih udova mogu uzrokovati ograničenja u izvođenju svakodnevnih aktivnosti te utjecati na sposobnost dosezanja, hvatanja i manipuliranja predmetima u različitim životnim okruženjima. Kod djece i osoba s CP često je prisutna smanjena funkcionalnost ruke i šake pa se od konvencionalnih pristupa za rehabilitaciju gornjih udova najčešće primjenjuje intenzivna bimanualna terapija te terapija prisilno induciranog motoričkog pokreta (Mioč i sur., 2017). Konvencionalnim terapijama sve se učestalije pridružuje i terapija robotskim uređajima koja omogućava izvođenje vježbi visokog intenziteta uz veći broj ponavljanja u motivirajućem okruženju (Berreta i sur., 2018). Od robotskih uređaja koji se danas najčešće koriste u neurorehabilitaciji djece s CP kod kojih postoje oštećenja gornjih ekstremiteta, Cimolin i sur. (2019) navode robotske uređaje InMotion2, CosmoBot i Armeo Spring dok se kod odraslih osoba uz prethodno spomenute ističu i Amadeo, MyPam i YouGrabber (GloReha) robotski uređaji. Ovisno o dobi, specifičnim ciljevima i fazi rehabilitacije u kojoj se nalaze, osobama mogu biti predloženi različiti robotski sustavi koji pružaju visokointenzivni, ponavljajući i interaktivni trening (Marchal-Crespo i Reinkensmeyer, 2009). Biffi i sur. (2018) navode da terapija robotskim uređajima pokazuje funkcionalna poboljšanja u koordinaciji gornjih udova kod osoba s oštećenjem središnjeg živčanog sustava, neovisno o tome da li se radi o egzoskeletnim ili



endogenim (end-effector) robotima. U nastavku će biti navedeni i opisani robotski uređaji koji se koriste u neurorehabilitaciji gornjih ekstremiteta kod osoba s CP.

### **2.2.1. Armeo Spring**

Armeo Spring robotski je uređaj napravljen u svrhu vraćanja funkcionalnosti gornjih ekstremiteta kod osoba koje su funkcionalnost djelomično ili potpuno izgubile uslijed neuroloških, spinalnih ili mišićno-koštanih oštećenja (Glavić i sur., 2016). Namijenjen je osobama koje nemaju dovoljno snage za pomicanje ruku i šaka u odnosu na silu težu te osobama kod kojih postoje poteškoće u izvođenju svakodnevnih aktivnosti i zadataka koji uključuju manipuliranje predmetima, koordinaciju ruku, hvatanje i dosezanje (Sanchez i sur., 2006). Armeo Spring pasivni je egzoskeletni robotski uređaj koji ima pet stupnjeva slobode (tri u ramenu, jedan u laktu i jedan u šaci), a svaki stupanj slobode odgovara kretanjama zglobova u pojedinim ravninama oko pojedinih osi (Avancini-Dobrović i sur., 2022). Ovaj robotski uređaj sastoji se od podesivog ovjesa koji se pričvršćuje za pacijentovu ruku na nadlaktici te podlaktici u blizini zapešća. Ovjes se može prilagoditi osobi s obzirom na njena specifična obilježja kao što su visina i dužina ruke (Cimolin i sur., 2019). Ovisno o stanju osobe, može se prilagoditi i količina potpore koju egzoskelet daje ruci za vrijeme vježbanja te sloboda pokreta u pojedinom zglobu (Avancini-Dobrović i sur., 2022). Ovjes pruža podršku gornjem ekstremitetu od proksimalnog do distalnog kraja omogućavajući postizanje što većeg opsega pokreta unutar trodimenzionalnog radnog prostora. Na distalnom kraju sustava ovjesa nalazi se ručica u kojoj je smješten senzor čija je zadaća uočavanje jačine pritiska te omogućavanje izvršavanja zadataka hvatanja i ispuštanja uz kontroliranu jačinu stiska šake (Stein i sur., 2004). Ovi funkcionalni zadaci simuliraju se u virtualnom okruženju, na zaslonu računala potičući na taj način motivaciju osobe za izvođenje aktivnih pokreta uz pomoć zabavnih softverskih video igara (Glavić i sur., 2016). Zaslona računala kroz vizualne i auditivne sadržaje osobi pruža povratne informacije prilikom izvođenja zadataka i vježbi, a istovremeno terapeut dobiva podatke o specifičnim parametrima motoričkih sposobnosti, tj. pokreta kao što su otpornost, jačina, raspon i koordinacija pokreta (Beretta i sur., 2018). Dobiveni podaci omogućavaju mu podešavanje težine zadataka za svaku osobu individualno te se koriste za praćenje napretka osobe. Poboljšanjem i napretkom u motoričkim sposobnostima terapeuti povećavaju težinu zadataka i broj ponavljanja igre, ali i uvode nove igre (Beretta

i sur., 2018). Povećanjem samostalnosti pokreta ruke prilikom izvođenja zadataka povećava se i samopouzdanje osobe pa ona aktivno sudjeluje u obavljanju svakodnevnih aktivnosti smanjujući na taj način ovisnost o osobama iz okoline.



**Slika 1.** Prikaz Armeo Spring robotskog uređaja

Preuzeto s: [https://www.researchgate.net/figure/ArmeoR-Spring-an-ergonomic-arm-exoskeleton-with-integrated-springs-reprint-with\\_fig2\\_267274035](https://www.researchgate.net/figure/ArmeoR-Spring-an-ergonomic-arm-exoskeleton-with-integrated-springs-reprint-with_fig2_267274035)

### **2.2.2. Amadeo**

Najrašireniji robotski uređaj koji se danas koristi u neurorehabilitacijskom procesu za rehabilitaciju prstiju i šake je Amadeo robotski uređaj (Sale i sur., 2012). Namijenjen je osobama s neurološkim oštećenjima središnjeg živčanog sustava kod kojih je prisutno oštećenje ili disfunkcija gornjih ekstremiteta. Amadeo robotski uređaj primjenjuje se u kombinaciji s ostalim konvencionalnim terapijskim metodama koje uključuju vježbe za jačanje mišića, poboljšanje pokretljivosti zglobova te povećanje raspona pokreta. Osnovni je cilj korištenja ovog robotskog sustava poboljšanje motoričkih funkcija, pokretljivosti šake i prstiju te koordinacije ruku i šaka (Tomaj i Marinčić, 2018). Jedna od prednosti primjene Amadeo robotskog uređaja je mogućnost njegove prilagodbe razini funkcionalnosti osobe te njenim individualnim mogućnostima i potrebama. Sukladno tome ovaj sustav osobama može pružiti pasivnu podršku prilikom izvođenja zadataka, pri čemu se pokreti prstiju i šake izvode uz pomoć robota, ali i omogućiti izvođenje

potpomognutih te aktivnih pokreta tijekom zadanih aktivnosti. Terapija kontinuiranim pasivnim pokretima omogućuje visoku frekvenciju ponavljanja kao temeljni dio motoričkog učenja. Ovisno o motoričkim sposobnostima osobe i težini zadataka, Amadeo robotski uređaj pruža osobi podršku u onoj mjeri u kojoj mu je potrebna, omogućavajući aktivan trening do maksimalne granice izvođenja pokreta (Serrano-Lopez-Terradas i Seco-Rubio, 2022). Amadeo je endogeni (end-effector) robotski uređaj s obzirom da je vezan za krajnji dio ekstremiteta, šaku. Omogućava fleksiju i/ili ekstenziju, tj. pokretanje jednog ili svih pet prstiju zajedno simulirajući prirodni pokret hvata (Huang i sur., 2017). Funkcionalnost ruku, šaka i prstiju iznimno je važna zbog obavljanja aktivnosti svakodnevnog života koje uključuju finu motoriku. Ove su aktivnosti kod osoba s cerebralnom paralizom često praćene teškoćama pri njihovoj izvedbi pa ih je iznimno važno poticati i na njima raditi (Sale i sur., 2012). Pozicioniranje na uređaj brzo je i jednostavno. Ruka osobe kod koje je prisutno oštećenje ili disfunkcija postavlja se na robotski uređaj te se pričvršćuje u području ručnog zgloba i podlaktice. Oslonci podupiru šaku i ruku osobe tijekom trajanja terapije. Posebnim flasterima za prste pričvršćuju se nosači za prste koji sadrže magnete koji se potom spajaju na klizalice za prste (Adar i sur., 2023). Ovaj je robotski uređaj prilagođen osobama svih dobih skupina što ga čini prikladnim za terapiju odraslih osoba, ali i djece. Amadeo sustav povezan je s programskim sustavom koji nudi brojne terapijske igre i smislene, ciljane zadatke koji se prikazuju na računalu te motiviraju osobe, olakšavaju izvođenje terapije i potiču na izvođenje pokreta na zabavan i zanimljiv način (Huang i sur., 2017). Robotski uređaj Amadeo nudi procjenu i mjerenje spastičnosti, snage, mišića i opsega pokreta. Povratne informacije o tijeku i napredovanju tijekom primjene Amadeo robotskog uređaja vidljive su terapeutu, ali i samoj osobi što uvelike olakšava cijeli neurorehabilitacijski proces te pridonosi njegovom boljem razumijevanju (Adar i sur., 2023).



**Slika 2.** Amadeo robotski uređaj

Preuzeto s: [https://aritherah.hr/wp-content/uploads/2021/07/Amadeo\\_small.jpg](https://aritherah.hr/wp-content/uploads/2021/07/Amadeo_small.jpg)



**Slika 3.** Amadeo robotski uređaj

Preuzeto s: <https://www.vecernji.hr/lifestyle/premijerno-predstavljena-robotska-neurorehabilitacija-kojom-specijalna-bolnica-aritheravraca-izgubljeni-pokret-1209355/galerija-278593?page=9>

Veliki naglasak u neurorehabilitacijskom procesu stavlja se na motivaciju osobe te se smatra da je uspješnost provođenja terapija i tretmana veća što je osoba više motivirana za aktivnim sudjelovanjem i vlastitim napretkom. Uključivanje igre u proces rehabilitacije iznimno je motivirajuća komponenta za djecu s teškoćama u razvoju kod kojih je često prisutan poremećaj koncentracije te gubitak motivacije i interesa za izvršavanje zadataka (Horvatić i sur., 2009). Primjena robotskih uređaja, kao relativno nova grana u području neurorehabilitacije osoba s oštećenjem središnjeg živčanog sustava, povećava motivaciju za izvođenje ponavljajućih vježbi, pruža povratnu informaciju o izvedbi, nudi zanimljivo i ugodno iskustvo te mijenja pristup i stavove klijenata prema terapiji (Jouaiti i Dautenhahn, 2023).

### 2.2.3. CosmoBot

CosmoBot robotski uređaj iznimno je motivirajuć pa ga terapeuti koriste kako bi uključili djecu u terapijski proces, učinili ga zanimljivijim te olakšali svladavanje razvojnih i obrazovnih ciljeva (Brisben i sur., 2005). Radi se o interaktivnom robotu koji se kontrolira djetetovim gestama, pokretima tijela i glasom putem senzora te omogućava automatsko bilježenje podataka dobivenih tijekom terapije (Larina i sur., 2020). CosmoBot uređaj je dizajniran i namijenjen za terapijski proces, igru i učenje te je pogodan za korištenje u svim djetetovim okruženjima. Prednost ovog robotskog uređaja je ta što ga osim stručnjaka kao što su učitelji, edukacijski rehabilitatori, logopedi, fizioterapeuti, zdravstveni radnici, radni terapeuti i ostali, mogu kupiti i koristiti roditelji djece s teškoćama u razvoju (Lockerd i sur., 2004). Dijete može kontrolirati glavu, ramena, ruke i usta CosmoBot robota kao i njegove noge omogućavajući mu kretanja lijevo-desno i naprijed-nazad. Ovaj robotski sustav sastoji se od CosmoBot uređaja, prilagodljivog sučelja (Mission Control) koje djeci omogućava kontrolu CosmoBota pomoću pokreta, gesti i glasa te ručnog računala za primanje naredbi pomoću kojega se robot programira u skladu sa željenim ishodima učenja (Lockerd i sur., 2004). Sa sučeljem su povezani senzori koji su zaduženi za uočavanje promjena u pokretima dijelova tijela djeteta. Kada dijete pomakne određeni dio tijela, npr. ruku, aktivira se senzor u softveru sučelja te robot oponaša djetetov pokret (Brisben i sur., 2005).



**Slika 4.** CosmoBot robotski uređaj

Preuzeto s: [https://www.semanticscholar.org/paper/The-CosmoBot-TM-System-%3A-Evaluating-its-Usability-\\*-Brisben-Safos/0786b0f570ded39d65ccc3674953ddf3242b1d0f](https://www.semanticscholar.org/paper/The-CosmoBot-TM-System-%3A-Evaluating-its-Usability-*-Brisben-Safos/0786b0f570ded39d65ccc3674953ddf3242b1d0f)

#### **2.2.4. GloReha Sinfonia**

Prisutnost motoričkih teškoća može smanjiti autonomiju osoba s cerebralnom paralizom pa je glavni cilj njihove rehabilitacije uz pomoć GloReha robotskog uređaja poboljšanje funkcionalnih pokreta gornjih ekstremiteta te djelomično ili potpuno vraćanje samostalnosti prilikom obavljanja aktivnosti svakodnevnog života (Jouaiti i Dautenhahn, 2023). Temelj rehabilitacijskih metoda i terapija, koje za cilj imaju povećanje funkcionalnih mogućnosti gornjih udova, kontinuirano je ponavljanje ciljanih i specifičnih pokreta što ovi uređaji i omogućavaju. GloReha Sinfonia najnaprednija je verzija GloReha robotskih uređaja te je namijenjena za korištenje u svim fazama neurorehabilitacijskog procesa kod djece i odraslih osoba. Ovaj uređaj karakterizira robotska rukavica i dinamički sustav podrške koji omogućava slobodno pomicanje prstiju u različitim smjerovima i različitim brzinama te detektira voljno aktivne pokrete istovremeno potičući osobu da samostalno izvodi vježbe otvaranja/zatvaranja šake i fleksije/ekstenzije prstiju (Bressi i sur., 2023). Osim pružanja aktivne podrške tijekom neurorehabilitacijskog procesa, GloReha Sinfonia pruža pomoć prilikom izvođenja potpomognutih pokreta na način da osoba započne s izvođenjem određenog motoričkog zadatka, a robotska rukavica prati aktivnost osobe te intervenira pružajući podršku samo onda kada je to potrebno (Bressi i sur., 2023). Tijekom cijelog trajanja terapije, terapeut prati dobivene podatke i informacije o pacijentovom stupnju samostalnosti prilikom obavljanja zadataka kao i razinu uspješnosti u izvođenju aktivnosti. Također, sama osoba može kontrolirati izvođenje motoričkih vježbi putem povratnih informacija dobivenih kroz 3D animacije na zaslonu. Osim spomenutih razina pružanja podrške, GloReha Sinfonia pruža i pasivnu podršku pacijentu u situacijama kada on samostalno ne može obaviti funkcionalni zadatak (Bressi i sur., 2023). Robotska rukavica povezana je s virtualnom simulacijom koja prikazuje pokrete pacijentove ruke prilikom manipuliranja objektima kao i prilikom hvatanja i dosezanja predmeta. Od ostalih postavki robotskog uređaja GloReha Sinfonia ističu se mogućnost video pregleda, praćenja poboljšanja i napretka izvedbe te raznolikost i prilagodba interaktivnih igara (Bressi i sur., 2023).



**Slika 5.** Robotski uređaj GloReha Sinfonia

Preuzeto s: <https://pulsusmedical.hr/novosti/medicinski-uredaji/gloreha-sinfonia>



**Slika 6.** GloReha robotska rukavica

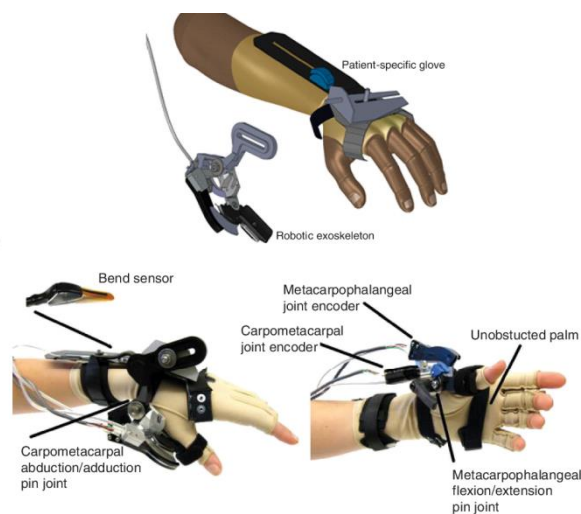
Preuzeto s: <https://www.promed.com.hk/robotic/gloreha-sinfonia>

### **2.2.5. IOTA (The Isolated Orthosis for Thumb Actuation)**

Izolirana ortoza za pokretljivost palca (IOTA) egzoskeletni je robotski uređaj s dva stupnja slobode razvijen za rehabilitaciju šake, odnosno palca. Dizajn uređaja namijenjen je djeci u dobi od 8 do 12 godina. Ovaj robotski sustav omogućava pokretanje karpometakarpalnog i metakarpofalangealnog zgloba osiguravajući na taj način specifičan raspon pokreta kao što su hvat i posezanje, a potrebni su za izvršavanje svakodnevnih aktivnosti (Aubin i sur., 2014). IOTA robotski uređaj namijenjen je za kućnu upotrebu i rehabilitaciju koja nadopunjuje terapiju u kliničkom okruženju što ga čini jednostavnim, dostupnim i lako primjenjivim (Gaudet, Raison i Achiche, 2021). Uključuje različite



načine kontrole, tj. upravljanja od aktivnog pa sve do pasivnog što je izuzetno korisno za djecu sa slabom mogućnošću izvođenja voljnih pokreta palca. Ovaj robotski uređaj stavlja se preko djetetove ruke. Senzori detektiraju pokušaje pokreta palca i zapešća te prenose informacije do malog računala koje se nalazi u prijenosnoj kontrolnoj kutiji. Praćenje pokreta palca omogućava uređaju pojačavanje odnosno smanjivanje pokreta palca ovisno o potrebi za izvođenjem ciljne i specifične kretnje (Falzarano i sur., 2019). IOTA uređaj prikladan je za korištenje uz ostale konvencionalne terapije i metode koje su namijenjene rehabilitaciji djece s cerebralnom paralizom.



**Slika 7.** IOTA robotski uređaj

Preuzeto s: <https://www.semanticscholar.org/paper/A-pediatric-robotic-thumb-exoskeleton-for-at-home-Aubin-Petersen/fdf5e2a35d507bf2a88e9323aece7d1e6caab472/figure/4>

### 2.2.6. InMotion2

InMotion2 robotski je uređaj poznatiji i kao rame-lakat robot, namijenjen rehabilitaciji gornjih udova kod osoba koje imaju poteškoće s izvođenjem zadataka i aktivnosti koje uključuju korištenje jedne i/ili obje ruke. Ovaj sustav ima 2 stupnja slobode, jedan u ramenu i jedan u laktu te osobama pruža intenzivnu terapiju koja im pomaže da poboljšaju motoričku funkciju ruke i šake (Larina i sur., 2020). Ciljevi koji se žele postići primjenom ovog uređaja određuju se individualno za pojedinu osobu s obzirom na njenu kliničku



sliku te željene ishode neurorehabilitacijskog procesa, a uključuju povećanje samostalnosti prilikom izvođenja svakodnevnih aktivnosti, povećanje raspona pokreta, brzine i snage izvođenja pokreta te poboljšanje motoričkog planiranja, koordinacije oko ruka, snage, pažnje i koncentracije (Bayon i sur., 2016). InMotion2 robotski uređaj programiran je na način da prati izvedbu osobe prilikom obavljanja određene aktivnosti te da pruža fizičku podršku u onoj mjeri u kojoj je to potrebno kako bi osoba uspješno dovršila zadatak. Potreba za pružanjem odgovarajuće razine podrške određuje se na temelju podataka dobivenih tijekom korištenja uređaja, a uključuju podatke o brzini izvođenja pokreta te vremena potrebnog za dovršavanje zadatka (Ibrahim i sur., 2022). Ukoliko osoba ne može samostalno izvesti zadatak, robotski uređaj pruža potporu pri njegovom rješavanju. S druge strane, InMotion2 robotski uređaj pruža motivaciju i izazov te potiče osobu na izvođenje specifičnog pokreta ovisno o njegovim motoričkim sposobnostima (Duret i sur., 2015). Tijekom cijelog trajanja terapije, ovaj sustav zadaje specifične aktivnosti, nadzire pokrete osobe te pruža podršku kako bi uspješnost obavljanja zadataka i dostizanja ciljeva bila što veća.



**Slika 8.** InMotion2 robotski uređaj

Preuzeto s: <https://bioniklabs.com/all-about-the-inmotion-robot>



**Slika 9.** InMotion2 robotski uređaj

Preuzeto s: <https://bioniklabs.com/all-about-the-inmotion-robot>

### **2.3. Robotska neurorehabilitacija donjih ekstremiteta kod osoba s cerebralnom paralizom**

Samostalno kretanje djece s CP važno je za njihov cjelokupan rast i razvoj jer im omogućava istraživanje okoline te interakciju s predmetima i osobama u njihovom okruženju. Neovisnost u kretanju, istraživanju i učenju djetetu olakšava sudjelovanje u svakodnevnim aktivnostima stoga se poboljšanje hoda smatra važnim rehabilitacijskim ciljem kako za dijete tako i za bliske osobe u djetetovoj okolini (Biringen i sur., 1995). Konvencionalne rehabilitacijske metode namijenjene poboljšanju hoda kod djece s CP uključuju sudjelovanje više stručnjaka koji su usmjereni na održavanje uspravne posture osobe prilikom hoda, sprječavanje padova, pomaganje prilikom izvođenja pokreta nogu te ispravljanja nepravilnih obrazaca hoda (Qian i sur., 2023). Napretkom tehnologije u posljednjih nekoliko desetljeća, upotreba robotskih uređaja za uvježbavanje hoda i pokreta postaje jedna od sve češće primjenjivih neurorehabilitacijskih metoda. Robotski uređaji namijenjeni za potpomognuti trening hodanja na traci (eng. RAGT-Robotic Assisted Gait Training) mogu pružiti podršku djeci i odraslim osobama s CP prilikom uvježbavanja pokreta donjih ekstremiteta, poboljšati kontrolu zglobova nogu, smanjiti njihovu opterećenost te povećati sigurnost kako ne bi došlo do neželjenih spoticanja i padova (van Hedel i sur., 2021).

### 2.3.1. Lokomat

Najčešće primjenjiv robotski uređaj za djecu i odrasle osobe s cerebralnom paralizom je Lokomat. Prepoznat je kao jedan od najznačajnijih robotskih uređaja za trening hoda namijenjen djeci starijoj od 5 godina i osobama kod kojih postoje oštećenja središnjeg živčanog sustava kao i druga neurološka odstupanja (Llamas-Ramos i sur., 2022). Lokomat je egzoskeletni uređaj opremljen sustavom podrške za tjelesnu težinu, podesivim ortozama, pokretnom trakom za hodanje, monitorom kojega koriste terapeuti te ekranom za prikazivanje sadržaja i video igara namijenjenog osobama (Baronchelli i sur., 2021). Terapeuti određuju ritam treninga prilagođavajući razinu potpore i brzinu pokretne trake u skladu s neurorehabilitacijskim ciljevima te sposobnostima osobe. Kao i prilikom korištenja drugih robotskih uređaja i kod primjene Lokomata izuzetno je važno motivirati dijete ili odraslu osobu kako bi ona što samostalnije sudjelovala u neurorehabilitacijskom procesu te na taj način povećala njegovu uspješnost. Motivacija se postiže video igrama koje se tijekom trajanja terapije Lokomatom prikazuju na monitoru. Monitor na interaktivan način potiče osobe da određenu vrstu pokreta naprave više puta te da povećaju raspon pokreta u području pojedinih zglobova donjih ekstremiteta kako bi se poboljšao hod. Sadržaji virtualnih simulacija edukativni su i sigurni, a njihov je glavni cilj, uz povećanje zainteresiranosti za terapiju, povećanje koncentracije osobe kako bi uspješnost izvođenja vježbi bila što veća (Chunhee i sur., 2016). Zahvaljujući sadržajima virtualne stvarnosti, djeca i odrasle osobe s CP terapiju uz pomoć robotskog uređaja Lokomata ne doživljavaju kao zamornu već kao zabavnu što omogućava duže trajanje rehabilitacijskih tretmana u usporedbi s drugim terapijama za potpomognuto hodanje na traci koje ne koriste sadržaje virtualne stvarnosti (Fu i sur., 2022). Uza sve navedeno, dodatna motivacija tijekom terapije postiže se Biofeedbackom koji osobi i terapeutu omogućava mjerenje i praćenje fizioloških reakcija i aktivnosti te daje uvid u njegov napredak (Lünenburger i sur., 2004). Prednosti primjene ovog robotskog sustava uključuju povećanu učinkovitost i fokus pacijenta te jednostavnost i sigurnost prilikom korištenja. Ovaj uređaj doprinosi poboljšanju u izvođenju zadataka koji uključuju hod, povećanju snage mišića fleksora kuka i ekstenzora koljena kao i poboljšanju statičke ravnoteže te posturalne stabilnosti kod osoba s cerebralnom paralizom (Bonanno i sur., 2023). Đurić i sur. (2023) proveli su istraživanje kojim je pokazano da primjena Lokomata, uz konvencionalne rehabilitacijske postupke i terapije, povećava raspon pokreta i mišićnu snagu te smanjuje spastičnost aduktornih mišića te mišića stražnje strane potkoljenica kod

djece s cerebralnom paralizom. Također, pozitivni učinci primjene Lokomata vidljivi su u poboljšanju motoričkih sposobnosti donjih ekstremiteta što vodi ka učestalijoj fizičkoj aktivnosti (Nam i sur., 2017).



**Slika 10.** Robotski uređaj Lokomat

Preuzeto s: <https://www.lmc-eg.com/product/hocoma-lokomat>

### **2.3.2. Andago**

Robotski uređaj Andago osigurava stabilnost nogu istovremeno oslobađajući osobu straha od slobodnog hoda te mogućnosti pada (Paušić i sur., 2021). Ovaj robotski uređaj sastoji se od pojasa kojim su osobe povezane s dinamičkim sustavom, tj. okvirom uređaja za potporu tjelesne težine i pokretljivosti, dva odvojena rukohvata, senzora koji su ugrađeni u prednji dio uređaja za otkrivanje sudara te uređaja (lifta) za pomoć prilikom prijenosa osoba s i na invalidska kolica (van Hedel i sur., 2021). Unutar uređaja nalaze se senzori koji prate pokrete trupa i kretanje osobe, a njihova je glavna zadaća registriranje sile i smjera pacijentovog hoda. Senzori u kombinaciji s motoriziranim kotačima na robotskom sustavu omogućuju kretanje osobe i uočavanje potencijalnih prepreka. Dinamički sustav za podršku tjelesne težine kontroliran je od strane terapeuta što znači da terapeut može povećati ili smanjiti podršku ovisno o potrebama i napretku osobe tijekom neurorehabilitacijskog procesa (van Hedel i sur., 2021). Andago robotski uređaj prepoznaje, štiti i sprječava potencijalne padove što ga čini jednim od najsigurnijih

robotskih uređaja namijenjenih za trening hoda. Nadalje, ovaj robotski uređaj prilagođava svoju brzinu osobi koja može ubrzati, usporiti, zaustaviti se, okrenuti i hodati unatrag u bilo kojem trenutku tijekom trajanja terapije. Sustav je ograničen na maksimalnu brzinu od 3,2 km/h te ima tri različita načina upravljanja. Kod prvog načina upravljanja uređaj prati pokrete osobe u bilo kojem smjeru. Drugi način upravljanja ograničava hod osobe na ravnu liniju (kretanje unaprijed ili unazad). U trećem načinu upravljanja senzori su deaktivirani i sustav ne prati pokrete osobe već uređajem upravlja terapeut pomoću daljinskog upravljača (van Hedel i sur., 2021). Andago robotski uređaj osobama omogućava intenzivan trening funkcionalnih zadataka mobilnosti i ravnoteže koji uključuju okretanje, zaustavljanje, pokretanje te izbjegavanje prepreka koje ispred osobe postavlja terapeut i koje odgovaraju unutarnjoj širini robotskog uređaja. Ovi zadaci pripremaju osobu za sudjelovanje u aktivnostima svakodnevnog života bez straha od mogućnosti pada, smanjuju nesigurnost osobe te potiču samoinicijativu u aktivnostima povezanim s kretanjem (van Hedel i sur., 2021).



**Slika 11.** Robotski uređaj Andago

Preuzeto s: <https://www.poliklinika-glavic.hr/neuro-rehabilitation-robotics-review/andago>

### 2.3.3. Gait Trainer (GT-1 Reha-Stim)

Još jedan robotski uređaj za potpomognuti trening hoda namijenjen rehabilitaciji djece s CP je Gait Trainer GT-1 (Reha-Stim). Cilj njegove primjene je poboljšanje sposobnosti hoda koje se postiže uz intenzivan i ponavljajući trening. Uređaj podupire tjelesnu težinu osobe dok su noge pozicionirane na dvije pokretne ploče. Kukovi i koljena osobe nisu fiksirani tijekom trajanja terapije. Kao i kod drugih robotskih uređaja namijenjenih za trening hoda, GT-1 (Reha-Stim) uređaj pruža djelomičnu potporu tjelesne težine uz fizičko vođenje robotskog uređaja kako bi noge i stopala osobe bila ispravno pozicionirana te potaknuta na pravilan obrazac hoda (Hesse i sur., 2013). Potporu tjelesne težine osigurava pojas koji je pričvršćen za uređaj te osobi omogućava izvođenje pokreta nogu i ruku simulirajući pravilan ciklus hoda, tj. izmjenu faze oslonca i njihanja (Hesse i sur., 2013). Nekoliko studija bavilo se ispitivanjem učinkovitosti primjene ovog uređaja u usporedbi s konvencionalnim rehabilitacijskim treningom. Smania i sur. (2011) navode istraživanje u kojem je sudjelovalo 18 osoba s diplegijom ili tetraplegijom. Kontrolna grupa pohađala je konvencionalni trening u trajanju od 40 minuta dok je s eksperimentalnom grupom proveden treninga hoda uz pomoć robotskog uređaja GT-1 (Reha-Stim) u trajanju od 30 minuta te vježbe istezanja u trajanju od 10 minuta. Obje grupe ispitanika odradile su 10 seansi, tj. treninga tijekom 2-tjednog razdoblja. Eksperimentalna grupa pokazala je napredak i poboljšanja na testu hoda od 10 metara, testu hoda u trajanju od 6 minuta te brzini i duljini koraka u odnosu na kontrolnu skupinu ispitanika. Ovi su rezultati dobiveni mjesec dana nakon završetka treninga čime je pokazana učinkovitost primjene GT-1 Reha-Stim uređaja kod osoba s CP.



## Slika 12. Gait Trainer GT-1 (Reha-Stim) robotski uređaj

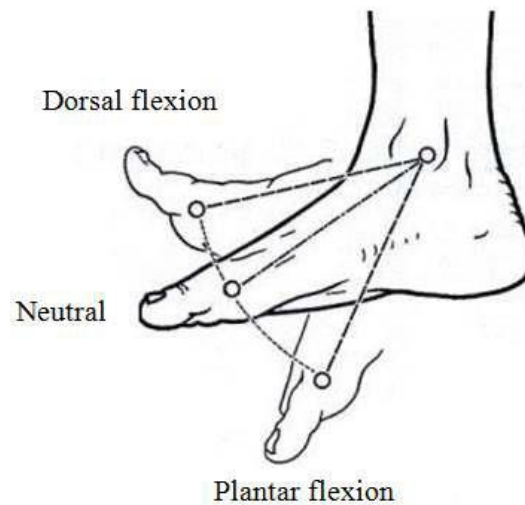
Preuzeto s: [https://www.researchgate.net/figure/The-Gangtrainer-GT-I-picture-courtesy-of-Reha-Stim\\_fig7\\_258380737](https://www.researchgate.net/figure/The-Gangtrainer-GT-I-picture-courtesy-of-Reha-Stim_fig7_258380737)

### 2.3.4. PerPedes

Rehabilitacija nogu i hoda kod osoba s CP moguća je i uz robotski uređaj PerPedes. Ovaj uređaj imitira prirodni ritam hoda omogućavajući plantarnu (PF) i dorzalnu fleksiju (DF) stopala. PF i DF odnose se na kut između stopala i tibije (kosti potkoljenice). Povećanje kuta između stopala i tibije označava plantarnu fleksiju dok se smanjenje kuta, tj. približavanje nožnih prstiju tibiji odnosi na dorzalnu fleksiju (Spelitz, 2020). Tijekom ciklusa hoda, dolazi do prirodne izmjene kutova što je glavni cilj primjene ovog robotskog sustava. Osim mogućnosti PF i DF stopala, ovaj uređaj omogućava rotaciju te aktivaciju mišića kuka, zdjelice, kralježnice, trupa i donjih ekstremiteta potičući na taj način složen i pravilan mehanizam hoda (Spelitz, 2020). Osnova primjene PerPedes robotskog uređaja počiva na neuroplastičnosti mozga. Pravilnim repliciranjem prirodnih pokreta i obrazaca hoda, stvaraju se nove neuronske veze te putevi koji trajno ostaju pohranjeni u mozgu (Wagner i sur., 2018). PerPedes uređaj sastoji se od dvije pokretne ploče na čije se vrhove fiksiraju stopala osobe i pričvršćuju trakama. Tijekom cijelog neurorehabilitacijskog procesa osoba nosi pojas koji joj omogućava prenošenje, tj. potporu dijela težine na robotski uređaj što joj pruža subjektivni osjećaj sigurnosti te smanjuje strah od mogućih nezgoda. Potpora tjelesne težine može iznositi od 0% do 100% tjelesne težine osobe. Osim upotrebom pojasa, dodatna sigurnost postiže se rukohvatima koji osobi omogućavaju stabilizaciju (Spelitz, 2020). Ovaj uređaj nudi različite mogućnosti podešavanja prema specifičnim karakteristikama osobe omogućavajući prilagodbu duljine i širine koraka te brzine hoda. Duljina koraka može se podesiti zasebno za svaku ploču u rasponu od 270 do 620mm dok se širina koraka može postaviti u dva moguća položaja na svakoj ploči što odgovara razmaku od 90 ili 190mm između središnjih linija stopala (Spelitz, 2020). PerPedes uređaj nudi terapeutima mogućnost očitavanja podataka i rezultata koje osoba postiže tijekom neurorehabilitacijskog procesa od kojih je najvažniji pritisak stopala. Informacije o pritisku stopala dobivaju se iz senzora ugrađenih u obje



pokretne ploče uređaja. Osim pritiska stopala, dobiveni podaci uključuju i količinu potrebne podrške, tj. potpore tjelesne težine te brzinu i intenzitet terapije (Spelitz, 2020).



**Slika 13.** Plantarna i dorzalna fleksija stopala

Preuzeto s: [https://www.researchgate.net/figure/Ankle-joint-representing-dorsiflexion-and-plantar-flexion\\_fig1\\_261995964](https://www.researchgate.net/figure/Ankle-joint-representing-dorsiflexion-and-plantar-flexion_fig1_261995964)



**Slika 14.** PerPedes robotski uređaj

Preuzeto s: <https://arither.hr/usluge/robotska-neurorehabilitacija/robotski-uredaji/perpedes>



### **3. Problemska pitanja**

Rehabilitacija osoba s CP sveobuhvatan je proces koji obuhvaća različite terapijske pristupe. Brzim napretkom znanosti i tehnologije povećava se primjena robota u rehabilitaciji. Kao i konvencionalni pristupi namijenjeni neurorehabilitaciji osoba s CP, robotski uređaji imaju za cilj poboljšati njihovu kvalitetu života, funkcionalnu sposobnost i neovisnost.

Robotska neurorehabilitacija predstavlja jednu od novih mogućnosti u rehabilitaciji osoba s CP, a temelji se na korištenju robotskih uređaja i tehnologija kako bi se potaknula neuroplastičnost mozga te poboljšali motorički i funkcionalni ishodi. Primjena robotskih uređaja omogućava stimulaciju željenih mišićnih skupina poboljšavajući kontrolu i opseg pokreta te snagu mišića.

Svrha je ovoga rada opis najčešće primjenjivih robotskih uređaja u neurorehabilitaciji osoba s CP te provjera učinkovitosti njihove primjene kroz pregled provedenih istraživanja u Europi i svijetu. Nadalje, u ovom će radu biti istaknute prednosti, ali i nedostaci korištenja robota u procesu neurorehabilitacije te će biti donesen konačan zaključak. Jedan je od ciljeva ovog rada upoznavanje stručnjaka edukacijsko-rehabilitacijskog profila s različitim robotskim uređajima koji su zastupljeni u neurorehabilitaciji osoba s CP te proširivanje interesa za djelovanjem i radom u ovom području.

### **4. Pregled istraživanja**

U ovom je poglavlju predstavljeno nekoliko istraživanja koja se bave pitanjem učinkovitosti primjene robotske neurorehabilitacije kod djece i odraslih osoba s CP. Istraživanja su odabrana na temelju specifičnog uzorka ispitanika odnosno njihovog motoričkog poremećaja (cerebralna paraliza) te robotskih uređaja koji su prethodni spomenuti u radu.

Istraživanje provedeno od Đurić i sur. (2023) imalo je za cilj provjeriti učinkovitost robotski asistiranog treninga hoda (RAGT) korištenjem uređaja Lokomata, kao dodatka konvencionalnim rehabilitacijskim metodama, na poboljšanje opsega pokreta, jačanje mišića i smanjenje spastičnosti kod djece s cerebralnom paralizom. Ova je studija provedena u razdoblju od 2020. do 2021. godine u Abu Dhabiju te je u njoj sudjelovalo 26 djece s dijagnozom cerebralne paralize. Uključujući kriteriji za sudjelovanje u istraživanju, osim dijagnoze cerebralne paralize, bili su GMFCS level od I do IV, dob djece od 4,5 do 14 godina te sposobnost djece da slijede jednostavne upute. Isključujući kriteriji za sudjelovanje u ovoj studiji bili su odrađena operacija donjih udova unatrag godinu dana, prisutnost napadaja koji nisu kontrolirani lijekovima, opće kontraindikacije za korištenje robotskog uređaja Lokomata poput prijeloma, otvorenih kožnih lezija, vaskularnih poremećaja donjih ekstremiteta te osteoporoza kao i sudjelovanje u nekom drugom programu treninga Lokomata u posljednja 3 mjeseca. Procjene su provedene prije te nakon završetka terapijskih programa robotskim uređajem Lokomatom, a korišteni su sljedeći mjerni instrumenti: Oxfordova ljestvica za procjenu mišićne snage, modificirana Ashworthova ljestiva (MAS) za procjenu spastičnosti mišića donjih udova te mjerenje opsega pokreta (ROM) pomoću goniometra. Svi su ispitivači slijedili standardizirane pisane upute za procjenu. Mjerenja su provedena 1-2 dana prije početka same studije te ponovno 1-2 dana nakon završetka terapijskih tretmana korištenjem robotskog uređaja Lokomata. Trening Lokomatom uključivao je 20 terapijskih sesija, 5 puta tjedno u trajanju od 40 minuta. Uz trening Lokomatom, djeca su bila uključena i u konvencionalne terapijske metode s jednakom učestalosti i trajanjem. Robotski asistirani trening hoda uključivao je individualno prilagođavanje robotskog uređaja Lokomata značajkama djeteta (visina, težina) te njihovim funkcionalnim sposobnostima (brzina hoda, postura tijela). Konvencionalne terapijske metode uključivale su individualne vježbe snage, vježbe istezanja, vježbe ravnoteže te trening hoda. Nakon provedenih treninga robotskim uređajem Lokomatom te konvencionalnih terapijskih vježbi rezultati su pokazali poboljšanja u opsegu pokreta kuka, tj. njegovoj fleksiji, ekstenziji i abdukciji kao i poboljšanje opsega pokreta koljena (ekstenzija) te gležnja (fleksija). Kod jedne trećine sudionika vidljiva su poboljšanja mišićne snage kuka i gležnja, dok je kod većine sudionika (68-80%) uočeno značajno povećanje mišićne snage kvadricepsa. Također, rezultati studije zabilježili su i blago smanjenje spastičnosti mišića kuka, mišića potkoljenice te mišića zadnje lože. Ograničenje ove studije prvenstveno je nedostatak kontrolne skupine zbog poteškoća s prikupljanjem ispitanika uslijed pandemije COVID-

19. Potrebna je provedba kvalitetnije randomiziranih kontroliranih studija kako bi se detaljnije istražili učinci RAGT-a (robotski asistiranog treninga hoda) na motoričke teškoće djece, ali i odraslih osoba s CP (Đurić i sur., 2023).

Istraživanje koje su proveli Cimolin i sur. (2019) imalo je za cilj ispitati učinkovitost robotskog sustava Armeo Spring na poboljšanje funkcije gornjih ekstremiteta djece s CP. U istraživanju je sudjelovalo 21 djece s dijagnozom CP (spastična hemiplegija) te 15 djece urednog razvoja koji se po starosti nisu značajno razlikovali od djece iz eksperimentalne skupine. Kriteriji za odabir sudionika bez invaliditeta uključivali su nepostojanje prethodne dokumentirane povijesti kardiovaskularnih, neuroloških ili mišićno-koštanih poteškoća, a prema kliničkom pregledu sva su djeca iz kontrolne skupine bila urednog motoričkog i intelektualnog razvoja. Oni nisu sudjelovali u treningu robotskim uređajem Armeo Spring, ali je njihova procjena korištena kao referentni skup podataka. Uključujući kriteriji za sudjelovanje u istraživanju za djecu s CP bili su, osim dijagnostičirane CP, raspon godina između 6 i 18, sposobnost razumijevanja i praćenja jednostavnih uputa, mogućnost uspravnog sjedenja u trajanju od 45 minuta te razina III ili niža prema MACS klasifikacijskom sustavu za procjenu manipuliranja objektima u svakodnevnim aktivnostima. Isključujući kriteriji za sudjelovanje u istraživanju bili su prisutnost kožnih lezija, vidnih poteškoća i vizualno izazvanih napadaja. Također, u istraživanju nisu mogle sudjelovati osobe koje su imale ortopedsku operaciju na gornjem ekstremitetu kao i osobe koje su primale ili primaju antispastične lijekove u mišiće gornjih ekstremiteta (npr. Botulinom toxin). Trening Armeo Spring robotskim uređajem trajao je 4 tjedna, a odrađeno je ukupno 40 terapija (dvije terapije dnevno) u trajanju od 45 minuta. Vježbe su odabrane kako bi se procijenila izvedba ispitanika u različitim zglobovima (rame, lakat, zapešće) i zahtijevale su pokrete u različitim prostorima (1D, 2D i 3D). Tijekom svakog treninga, informacije o vježbama kao što su razina poteškoće, postignuti rezultati ispitanika te vrijeme potrebno za izvođenje vježbi automatski su bilježene od strane robotskog sustava, a neki od zadataka terapeuta bili su prilagođavanje uređaja prema veličini pacijentove ruke, motiviranje pacijenata te mijenjanje programa prema njihovom napretku. Mjerenja su provedena prije i nakon provođenja rehabilitacijskog programa Armeo Spring robotskim uređajem te su korištena dva mjerna instrumenta: QUEST (The Quality of Upper Extremities Skills Test)-skala procjene kvalitete vještina gornjih ekstremiteta te Melbournska procjena koja mjeri kvalitetu funkcije zahvaćene ruke kod

djece s neurološkim oštećenjima. Nakon provedenog treninga Armeo robotskim sustavom i ponovnog mjerenja, rezultati su pokazali poboljšanje motoričke funkcije hemiparetičnog ekstremiteta. Svi pacijenti pokazali su bolje obrasce pokreta i funkciju ruke prema QUEST skali dok je prema Melbournskoj procjeni pokazano poboljšanje kvalitete pokreta gornjeg ekstremiteta u mjerenju provedenom nakon primjene Armeo robotskog uređaja u usporedbi s mjerenjem provedenim prije njegovog korištenja. Tijekom studije naglasak je stavljen na pokret posezanja. Iako su djeca s dijagnozom cerebralne paralize na početnom mjerenju zadatke izvodila sporije, njihovi su pokreti trajali duže, a glatkoća i fluidnost pokreta je bila manja u usporedbi s djecom urednog razvoja iz kontrolne skupine, nakon provođenja rehabilitacijskog programa Armeo Spring robotskim uređajem uočena je statistički značajna razlika u smanjenju trajanja pokreta, brzini te glatkoći njegovog izvođenja kod eksperimentalne skupine djece u posljednjem mjerenju u odnosu na prvo. Nekoliko je ograničenja ove studije. Kao prvo, ističe se evaluacija samo jednog pokreta, posezanja, što ograničava širinu rezultata. Položaj glave i trupa djece s CP nisu bili kontrolirani tijekom izvođenja zadataka što je moglo utjecati na njihov ishod zbog prisutnosti kompenzacijskih pokreta. Nadalje, kontrolnu grupu činila su djeca urednog razvoja pa je usporedba ovih dviju skupina od početka upitna. Za provedbu daljnjih istraživanja preporuča se proširivanje studije na različite pokrete osim posezanja, kontrola položaja glave i trupa djece s CP prilikom sjedenja i obavljanja zadataka, pronalazak kontrolne skupine djece s istom dijagnozom, ali bez sudjelovanja u terapiji robotskim uređajem te provođenje longitudinalnih studija s ciljem praćenja dugotrajnih učinaka primjene ovog robotskog uređaja. Iako navedena studija sadrži ograničenja, njeni rezultati pokazuju učinkovitost primjene Armeo Spring sustava kod djece s CP stoga je se prilikom odabira terapije za rehabilitaciju gornjih ekstremiteta, preporuča uzeti u obzir.

Intervencije uz pomoć robotskih uređaja namijenjene za rehabilitaciju donjih udova kod osoba s CP pokazale su pozitivne učinke na unapređenje grubih motoričkih sposobnosti te kvalitetu, brzinu i samostalnost hoda. Kvalitativna studija provedena od strane Phelana i sur. (2015) imala je za cilj otkriti što djeca s CP i njihovi roditelji očekuju od primjene robotskog uređaja kao relativno nove intervencije u području neurorehabilitacije, kako reagiraju na korištenje robotskog uređaja te kako se prilikom njegovog korištenja osjećaju. Također, studija se bavila i pitanjima vezanim uz društvena očekivanja i vrijednosti koje su povezane s primjenom robota u terapiji. Razgovor s djecom i njihovim roditeljima o

iskustvima primjene robotskog uređaja tijekom neurorehabilitacijskog procesa od izuzetne je važnosti jer se u obzir uzimaju razmišljanja i stavovi osoba na koje se ova terapija direktno odnosi. Fokus ove studije bio je na poboljšanju fizičkih funkcija donjih ekstremiteta osobe te na otkrivanju potencijalnih zdravstvenih koristi primjene robotskog uređaja Lokomata. Kako bi se istražila očekivanja i iskustva djece s CP i njihovih roditelja o primjeni robotskog uređaja Lokomata, provedeni su polustrukturirani intervjui. Osim polustrukturiranih intervjua, podaci su prikupljeni i putem opservacije intervencija. Ciljevi opservacija bili su međusobno upoznavanje terapeuta s djecom i njihovim roditeljima, izgradnja međusobnog povjerenja, bolje razumijevanje djetetovih odgovora dobivenih intervjuem, oblikovanje i postavljanje specifičnih pitanja vezanih uz iskustva sudionika tijekom terapije te pružanje informacija o međusobnoj interakciji i komunikaciji roditelja, djece i terapeuta kao i interakciji s Lokomatom. Tijekom cijelog trajanja studije, fokus je bio stavljen na odgovore dobivene polustrukturiranim intervjuem od djece s CP, tj. samih korisnika primjene Lokomata dok su odgovori dobiveni od njihovih roditelja poslužili samo kako bi se pružio kontekst i detaljnije pojašnjenje. Studija je uključivala 5 djece s CP. Uključujući kriteriji za sudjelovanje u studiji kod djece bili su dob djeteta od 8 do 12 godina, GMFCS level II ili III, poznavanje engleskog jezika te dobre kognitivne sposobnosti dok je kod roditelja uz dobre kognitivne sposobnosti uključujući kriterij bio dolazak na terapije robotskim uređajem koje njihovo dijete pohađa. Nakon provedenih intervjua s djecom, istraživači su dobili sljedeće rezultate. Dio je djece naveo kako tijekom provođenja terapije Lokomatom nisu osjećala uzbuđenje. Ovisno o djetetu, emocionalne reakcije tijekom sudjelovanja u terapiji bile su različite. Dok su se neka djeca osjećala osnaženo jer izvode pokrete koje inače nisu u mogućnosti izvesti, druga su izvijestila o osjećaju anksioznosti i nelagode. Ovakvi se osjećaji mogu pripisati strahu od sudjelovanja u novoj terapiji te doživljavanja „neprirodnih“ pokreta, tj. pokreta na koje ona nisu naučena. Nadalje, suprotno pretpostavkama da djeca s CP žele „normalno“ hodati, djeca u ovoj studiji nisu izrazila želju za hodanjem tipičnim obrascima hoda, već su „normalno“ hodanje izjednačavala sa svojim uobičajenim načinom kretanja (uz pomoć invalidskih kolica ili drugih pomagala). Ovo se istraživanje fokusiralo na osobna iskustva sudionika naglašavajući važnost uzimanja u obzir njihovih perspektiva prilikom kreiranja i provođenja intervencija koje uključuju robotske uređaje. Autori Phelan i sur. (2015) ističu potrebu za poticanjem terapeuta, roditelja i istraživača na razmišljanje o tome zašto, kada i kako je najbolje uključiti djecu s CP u rehabilitaciju robotskim uređajima na načine koji odgovaraju dječjim mogućnostima te očekivanim razvojnim ciljevima.

Autori Adar i sur. (2024) u svome su istraživanju o primjeni Amadeo robotskog uređaja kod djece s CP došli do zaključka da je primjena ovog uređaja učinkovita u poboljšanju motoričke funkcije i manualne spretnosti gornjih ekstremiteta, smanjenju spastičnosti te povećanju kvalitete života kod djece s CP. Isti autori naglašavaju da terapija Amadeo uređajem nije superiorna u odnosu na konvencionalne terapije već je učinkovita dopuna tradicionalnim metodama rehabilitacije. Bishop i sur. (2017) proveli su istraživanje s ciljem boljeg razumijevanja utjecaja treninga Amadeo robotskim uređajem na poboljšanje motoričke funkcije ruke kod djece s hemiparezom. U istraživanju je sudjelovalo 12 djece (7 djevojčica i 5 dječaka) u dobi od 6 do 17 godina koja su nakon početne kliničke procjene prošla 6 tjedana treninga. Treninzi Amadeo robotskim uređajem sastojali su se od jednosatnih sesija, a provedeni su tri puta tjedno. Po završetku svih treninga napravljena je ponovna procjena čiji su rezultati pokazali korisnost primjene ovog uređaja u više područja. Korištenjem Amadeo robotskog uređaja kod djece uočena su značajna poboljšanja motoričke funkcije ruke i prstiju. Kombinacija robotske terapije s video igrama i interakcijskim zadacima povećala je motivaciju i pažnju djece tijekom terapije što se smatra ključnim aspektom u svakom rehabilitacijskom procesu. Amadeo robotski uređaj omogućio je visokointenzivno vježbanje, pružio precizne povrtne informacije te osigurao sigurnost i prilagodljivost u terapijskom procesu. Sudionici su po završetku studije bili vještiji u izvođenju zadataka koji zahtijevaju korištenje obje ruke, povećan je opseg pokreta prstiju te koordinacija prstiju u zadacima fleksije i ekstenzije (Bishop i sur., 2017).

Rezultati istraživanja Brisben i sur. (2005) pokazuju da je upotreba CosmoBot robotskog uređaja kod djece s CP čiji su terapijski ciljevi poboljšanje snage gornjih ekstremiteta, koordinacije, opsega pokreta i spretnosti, iznimno visoka. O prednostima ovog uređaja izvještavaju i terapeuti navodeći jednostavnost njegove upotrebe kao najveću. CosmoBot robotski uređaj omogućava terapeutima planiranje novih i zabavnih terapijskih intervencija što im uvelike olakšava rad i smanjuje vrijeme za uključivanje i motiviranje djece za sudjelovanjem u terapijskom procesu. Autori Brisben i sur. (2005) ističu važnost provođenja i praćenja budućih studija koje će ispitivati funkcionalne ishode djece s CP tijekom duljeg vremenskog perioda kako bi se procijenila učinkovitost CosmoBot robotskog uređaja u postizanju terapijskih ciljeva.

Fasoli i sur. (2010) proveli su istraživanje čiji je cilj bio ispitati učinkovitost robotski asistirane terapije pomoću InMotion2 uređaja na funkcionalnu sposobnost gornjih udova kod djece s CP. U istraživanju je sudjelovalo 12 djece u dobi od 4 do 12 godina koja su tijekom 8 tjedana, 2 puta tjedno u trajanju od 1 sat, koristila navedeni robotski uređaj. Tijekom provođenja terapije robotskim uređajem, od djece se očekivalo da izvedu 640 ponavljajućih, cilju usmjerenih radnji sa zahvaćenom rukom. Ukoliko dijete nije moglo aktivno i samostalno pridržavati ručku robota zahvaćenom rukom, korišten je pasivni način rada uređaja, tj. ruka je sigurno pričvršćena za robotski uređaj. Tijekom cijelog trajanja terapije, robotski uređaj bilježio je podatke o napretku djeteta, omogućavajući terapeutu prilagođavanje količine vodstva i pomoći ovisno o djetetovim motoričkim sposobnostima te davanje specifičnih prijedloga o načinima poboljšanja izvođenja zadanih pokreta. Rezultati istraživanja pokazali su statistički značajna poboljšanja u koordinaciji gornjih ekstremiteta te kvaliteti pokreta. Nadalje, terapija robotskim uređajem InMotion2 imala je pozitivan učinak na smanjenje spastičnosti kao i na povećanje snage mišića gornjih udova kod djece s CP (Fasoli i sur., 2010).

## **5. Prednosti korištenja robota u neurorehabilitaciji**

Mogućnost samostalnog hoda djece i odraslih osoba s CP od velike je važnosti kako za same osobe tako i za njihove obitelji jer je povezan s neovisnošću u izvršavanju svakodnevnih aktivnosti. Razvoj i održavanje vještine hodanja kod djece s CP važan je rehabilitacijski cilj koji donosi brojne psihološke, funkcionalne i društvene koristi (Hilderley i sur., 2016). Iako CP nije progresivno stanje brojne studije pokazale su da se razine na GMFCS ljestvici kao i funkcionalnost pojedinca mogu promijeniti/pogoršati nakon prijelaza iz djetinjstva u odraslu dob (Usuba i sur, 2014). Općenito, adolescenti i odrasle osobe s CP provode više vremena u sjedećem položaju za razliku od opće populacije, povećavajući na taj način rizik od razvoja bolesti povezanih sa sjedilačkim načinom života (Nooijen i sur., 2014). Parametri hoda djece s CP često su karakterizirani niskom brzinom, kratkom duljinom koraka te slabom ravnotežom (Braendvik i sur., 2020). Zbog visokog rizika od pogoršanja sposobnosti hoda kod djece s CP-om kako stare, razvijene su različite terapije koje nadopunjuju one konvencionalne kako bi došlo do poboljšanja prethodno navedenih parametara. Jedne od terapija uključuju korištenje robotskih uređaja namijenjenih za neurorehabilitaciju gornjih i donjih udova. Primjena

robotskih uređaja olakšava proces neuroplastičnosti mozga, a glavna prednost ove terapije u odnosu na konvencionalne je mogućnost neograničenog broja ponavljanja zadane radnje (Cano-de-la-Cuerda i sur., 2024). Primjena robotskih uređaja može osigurati visoku preciznost u izvođenju terapijskih vježbi te ubrzati napredak pacijenta. Robotski uređaji pružaju ponavljajuće i strukturirane stimulacije koje su ključne za poticanje neuroplastičnosti mozga, tj. njegove reorganizacije (Turner i sur., 2013). Primjena robotskih uređaja jača mišiće gornjih i donjih ekstremiteta, poboljšava sposobnost hoda, ravnotežu te posturu osobe (Guru i sur., 2023). Robotski uređaji prilagodljivi su potrebama svakog pacijenta što omogućava planiranje i izradu individualiziranih terapijskih programa te poboljšava učinkovitost i kvalitetu rehabilitacijskog procesa. Praćenje i analiza napretka pacijenta osiguravaju pravovremeno prilagođavanje tretmana, što je velika prednost primjene robotskih uređaja. Robotski uređaji opremljeni senzorima prate napredak pacijenata u stvarnom vremenu te omogućavaju izmjenu i prilagodbu terapije prema potrebi (Gassert i Volker-Dietz, 2018). Motivacijski elementi poput igara i interaktivnih zadataka povećavaju motivaciju osoba čineći rehabilitaciju zanimljivom te cijelo iskustvo korištenja robotskih uređaja zabavnim (Chunhee i sur., 2016). U samim počecima korištenja robotskih uređaja, robotska neurorehabilitacija primjenjivala se samo kod odraslih pacijenata, sve dok se nije pokazala sigurnom i učinkovitom terapijom za primjenu i kod mlađe populacije. Povećanje sigurnosti u izvođenju vježbi dodatna je prednost robotskih uređaja jer smanjuju rizik od ozljeda koje mogu nastati prilikom izvođenja vježbi s visokim intenzitetom ili nepravilnim pokretima (Zanatta i sur., 2023). Sigurnije okruženje za rehabilitaciju ne odnosi se samo na pacijente već i na terapeute. Primjena robotskih uređaja može smanjiti fizički napor terapeuta te im omogućiti da se usmjere na druge aspekte rehabilitacije (Gassert i Volker-Dietz, 2018). Sve navedene prednosti primjene robotskih uređaja koji se koriste u neurorehabilitaciji gornjih i donjih udova kod osoba s CP doprinose kvalitetnijoj rehabilitaciji, pomažu pacijentima da zadrže i/ili poboljšaju svoje motoričke funkcije te povećaju kvalitetu života.

## **6. Nedostaci korištenja robota u neurorehabilitaciji**

Iako primjena robotskih uređaja u neurorehabilitaciji osoba s CP ima mnogo prednosti, važno je kritički pristupiti ovoj tematici te istaknuti i njene nedostatke. Kao jedan od glavnih nedostataka korištenja robotskih uređaja, autori Bayón i sur. (2016) nvođe njihove



visoke troškove. Robotski uređaji često su vrlo skupi što može ograničiti njihovu dostupnost i primjenu u različitim kliničkim okruženjima. Rad s robotskim uređajima često je složen te zahtijeva specijalizirano znanje i obuku za terapeute što može predstavljati prepreku za njihovu široku primjenu. Terapeuti moraju biti dobro upoznati s načinom rada robotskog uređaja, ali i znati točno interpretirati rezultate dobivene njegovom primjenom (Yakub i sur., 2014). Robotski uređaji složeni su softveri koji zahtijevaju redovito održavanje, a tehnički problemi koji se mogu javiti prilikom njihove primjene, mogu utjecati na njihovu učinkovitost i dugoročnu pouzdanost (Yakub i sur., 2014). Autori Laut i sur. (2016) u svome radu dolaze do zaključka da postoji rizik od prekomjerne zavisnosti pacijenata na robotske uređaje što može znatno smanjiti njihov interes za sudjelovanje u aktivnostima izvan terapije. S obzirom da robotski uređaji često sadrže motivacijsku komponentu u obliku različitih interaktivnih igara ili video prikaza, konvencionalni oblici terapija osobama mogu postati zamorni te manje zanimljivi (Laut i sur., 2016). Primjena robotskih uređaja naglašava važnost uravnoteženog pristupa, uzimajući u obzir i prednosti i ograničenjanjihovog korištenja.

## **7. Robotska neurorehabilitacija u RH**

Neurorehabilitacija robotskim uređajima dostupna je u nekoliko gradova u Republici Hrvatskoj. Poliklinika Glavić vodeća je poliklinika namijenjena neurorehabilitaciji osoba kod kojih postoje oštećenja središnjeg živčanog sustava. Osim za osobe s CP, robotska neurorehabilitacija je u poliklinici Glavić dostupna i za osobe koje su preboljele moždani udar, koje boluju od multiple skleroze, kod kojih su prisutne ozljede kralježničke moždine te oštećenja nastala nakon operacija. Od 2015. godine u poliklinici Glavić dostupni su najsofisticiraniji robotski uređaji zbog kojih je ova poliklinika postala prepoznatljiva kako u Hrvatskoj tako i u regiji. Osim robotskih uređaja Armeo Spring i Lokomata koji se smatraju tehnološki najnaprednijim robotskim uređajima za rehabilitaciju gornjih i donjih ekstremiteta, poliklinika Glavić može se pohvaliti i robotskim uređajima poput Amadea, Pabla, Myra i Tyma koji omogućavaju intenzivnu i sveobuhvatnu neurorehabilitaciju bolesnika, pozitivno utječući na reorganizaciju živčanog sustava kao i na povratak funkcionalnosti. Poliklina Glavić u Republici Hrvatskoj djeluje na dvije lokacije, u Zagrebu i Dubrovniku.

Osim poliklinike Glavić, svojim doprinosom u primjeni robotske neurorehabilitacije ističe se i specijalna bolnica Arithera koja također djeluje u Zagrebu te u Dubrovniku. Kombinacijom tradicionalne terapije te terapije robotskim uređajima, Arithera omogućuje pacijentima s različitim neurološkim oštećenjima motivirajuć i učinkovit neurorehabilitacijski proces s naglaskom na njegovo kontinuirano praćenje. Ova specijalna bolnica koristi čak 8 visokotehnoloških robotskih uređaja od kojih se za rehabilitaciju djece i mladih s cerebralnom paralizom najčešće koriste Amadeo i PerPedes robotski uređaji.

Uz polikliniku Glavić i specijalnu bolnicu Arithera važno je spomenuti i lječilište Bizovačke toplice koje uz upotrebu posebno dizajniranih robotskih uređaja u suradnji s terapeutom, pacijentima omogućava poboljšanje motoričkih funkcija, koordinacije te kontrole pokreta. Za neurorehabilitaciju donjih ekstremiteta Lječilište Bizovačke toplice koristi G-EO SUSTAV, asistirani robotski uređaj za rehabilitaciju hoda koji je namijenjen djeci i odraslim osobama s neurološkim te ortopedskim motoričkim oštećenjima. Bizovačke toplice pružaju i usluge robotske neurorehabilitacije gornjih ekstremiteta, ruke i šake.

Terapija uz pomoć robotskih uređaja od 2019. godine provodi se i u Specijalnoj bolnici za zaštitu djece s neurorazvojnim i motoričkim smetnjama Goljak u Zagrebu koja pruža visoko intenzivan, ponavljajući i interaktivni tretman oslabljenog uda (ruke ili noge) s ciljem uspostavljanja novih neuronskih puteva u dječjem mozgu. Osim već spomenutih robotskih uređaja namijenjenih rehabilitaciji ruku (Armeo Spring), šaka (Amadeo) i donjih ekstremiteta (Lokomat), specijalna bolnica Goljak koristi se i robotski potpomognutim uređajima Myro, Pablo i Tymo čiji su osnovni ciljevi primjene unaprjeđivanje grube i fine motorike ruke, neurorehabilitacija ruku, nogu i trupa te postizanje bolje kontrole trupa i glave. Na robotske terapije u Specijalnoj bolnici Goljak većinom se uključuju djeca s CP starosne dobi od 4 do 18 godina koja uz motorička oštećenja često imaju pridružene poteškoće vida, pažnje te kognitivne smetnje.

## **8. Povezanost robotske neurorehabilitacije i edukacijske rehabilitacije**

Edukacijsko-rehabilitacijska djelatnost ima za cilj unapređivanje funkcionalnih sposobnosti i razvoja individualnih potencijala, stjecanja akademskih i socijalnih znanja i vještina, profesionalnog osposobljavanja/rehabilitacije, unapređenja životnog okruženja i kvalitete života djece s teškoćama u razvoju i osoba s invaliditetom. Edukacijska rehabilitacija i robotska neurorehabilitacija povezane su kroz zajedničke ciljeve rehabilitacije, a to su prije svega poboljšanje funkcionalnosti, povećanje kvalitete života i postizanje što veće neovisnosti prilikom obavljanja svakodnevnih aktivnosti. Iako stručnjaci edukacijsko-rehabilitacijskog profila u RH pretežito ne sudjeluju u provođenju tretmana robotske neurorehabilitacije, njihova bi uloga mogla biti ključna. Edukacijski rehabilitatori stručnjaci su koji procjenjuju potrebe osoba s različitim teškoćama prilagođavajući plan rehabilitacije njihovim specifičnim ciljevima i mogućnostima. Edukacijski rehabilitator može imati značajnu ulogu prilikom odabira robotskog sustava koji najbolje odgovara osobi s obzirom na njene individualne karakteristike. Stručnjaci edukacijske rehabilitacije imaju važnu ulogu u poticanju motivacije pacijenata što je ključno za uspjeh rehabilitacije. Oni pružaju samoj osobi, ali i njihovoj obitelji smjernice tijekom trajanja rehabilitacijskog programa, osiguravaju razumijevanje cijelog procesa te naglašavaju važnost aktivnog sudjelovanja. Edukacijski rehabilitatori mogli bi educirati osobe s teškoćama u razvoju i njihove obitelji o robotskim uređajima i njihovoj primjeni kada uvide da bi potreba za ovim oblikom rehabilitacije mogla biti učinkovita. Nadalje, edukacijski rehabilitator mogao bi imati ključnu ulogu u integraciji robotske tehnologije u rehabilitacijske programe uz kontinuirano praćenje i procjenu učinkovitosti ove metode s ciljem postizanja željenih rezultata.

## 9. Zaključak

Rehabilitacija osoba s cerebralnom paralizom složeni je proces koji obuhvaća različite terapijske pristupe te zahtijeva kontinuirani napredak u usavršavanju postojećih kao i razvoj novih metoda. Sve bržim napretkom znanosti i tehnologije povećava se potražnja za primjenom robota u neurorehabilitacijskom procesu koji kao i konvencionalni pristupi namijenjeni neurorehabilitaciji osoba s CP imaju za cilj poboljšati njihovu kvalitetu života te funkcionalnu sposobnost i neovisnost.

Robotska neurorehabilitacija temelji se na korištenju robotskih uređaja i sustava, a njihove tehničke mogućnosti i učinkovitost predmet su brojnih znanstvenih istraživanja današnjice.

Središte je zanimanja rada bio opis robotskih uređaja te provjera učinkovitosti robotske neurorehabilitacije kod osoba s CP. Pregledom postojećih istraživanja o najčešće korištenim robotskim uređajima za neurorehabilitaciju gornjih i donjih ekstremiteta, potvrđeni su dobrobiti ove metode za djecu i odrasle osobe s CP. Najveći je napredak vidljiv u poboljšanju motoričkih funkcija, ravnoteže i stabilnosti, smanjenju spastičnosti mišića, povećanju pokretljivosti šake i prstiju te povećanju motivacije za aktivnim sudjelovanjem u neurorehabilitacijskom procesu.

Iako većina istraživanja pokazuje učinkovitost ove metode, u obzir je potrebno uzeti i ograničenja navedenih studija kao i istraživanja koja nisu pokazala pozitivne rezultate s ciljem zadržavanja kritičkog stava prilikom savjetovanja osudjelovanju u ovoj terapiji.

Robotska neurorehabilitacija donosi mnoge prednosti, no važno je istaknuti da se ne može zamijeniti konvencionalnim terapijskim pristupima. Robotska neurorehabilitacija trebala bi se koristiti kao dio cjelovitog terapijskog plana, u kombinaciji s tradicionalnim pristupima za rehabilitaciju osoba s cerebralnom paralizom, jer se tada učinci ove metode dodatno ističu.

Ovaj je rad osmišljen s ciljem upoznavanja stručnjaka edukacijsko-rehabilitacijskog profila s mogućnostima robotske neurorehabilitacije te proširivanja interesa za djelovanjem i radom u ovom području. Važno je poticati i pratiti istraživanja o primjeni robotske neurorehabilitacije kako bi se utvrdili dugoročni učinci ove metode na osobe s CP.

## 10. Literatura

1. Acar, G., Ejraei, N., Turkdoğan, D., Enver, N., Öztürk, G., i Aktaş, G. (2022). The Effects of Neurodevelopmental Therapy on Feeding and Swallowing Activities in Children with Cerebral Palsy. *Dysphagia*, 37(4), 800–811.
2. Adar, S., Demircan, A., Akçin, A. İ., DüNDAR, Ü., Toktaş, H., Yeşil, H., Eroğlu, S., Eyvaz, N., Beştaş, E., i Köseoğlu Toksoy, C. (2023). Evaluation of finger strength and spasticity in hemiplegic patients using hand-finger robotic device: A validity and reliability study. *Medicine*, 102(49), e36479.
3. Adar, S., Keskin, D., DüNDAR, Ü., Toktaş, H., Yeşil, H., Eroğlu, S., Eyvaz, N., Beştaş, E., i Demircan, A. (2024). Effect of Robotic Rehabilitation on Hand Functions and Quality of Life in Children With Cerebral Palsy: A Prospective Randomized Controlled Study. *American journal of physical medicine & rehabilitation*, 103(8), 716–723. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000002430>
4. Aisen, M. L., Kerkovich, D., Mast, J., Mulroy, S., Wren, T. A., Kay, R. M., & Rethlefsen, S. A. (2011). Cerebral palsy: clinical care and neurological rehabilitation. *The Lancet Neurology*, 10(9), 844-852.
5. Almasri, N. A., i Alquaqzeh, F. A. (2023). Determinants of Quality of Life of Children and Adolescents with Cerebral Palsy: A Systematic Review. *Physical & occupational therapy in pediatrics*, 43(4), 367–388. <https://doi.org/10.1080/01942638.2022.2162358>
6. Anttila, H., Suoranta, J., Malmivaara, A., Mäkelä, M., i Autti-Rämö, I. (2008). Effectiveness of physiotherapy and conductive education interventions in children with cerebral palsy: a focused review. *American journal of physical medicine & rehabilitation*, 87(6), 478–501. <https://doi.org/10.1097/PHM.0b013e318174ebed>
7. Asby, D. (2018). Why Early Intervention is Important: Neuroplasticity in Early Childhood. Preuzeto 16.3.2024. s [https://www.researchgate.net/publication/326690391\\_Why\\_Early\\_Intervention\\_is\\_Important\\_Neuroplasticity\\_in\\_Early\\_Childhood](https://www.researchgate.net/publication/326690391_Why_Early_Intervention_is_Important_Neuroplasticity_in_Early_Childhood)
8. Atashzar, S. F., Shahbazi, M., i Patel, R. V. (2019). Haptics-enabled interactive neurorehabilitation mechatronics: classification, functionality, challenges and ongoing research. *Mechatronics*, 57, 1-19.

9. Aubin, P. M., Sallum, H., Walsh, C., Stirling, L., i Correia, A. (2013). A pediatric robotic thumb exoskeleton for at-home rehabilitation: the Isolated Orthosis for Thumb Actuation (IOTA). *IEEE ... International Conference on Rehabilitation Robotics : [proceedings], 2013*, 6650500.  
<https://doi.org/10.1109/ICORR.2013.6650500>
10. Avancini-Dobrović, V., Baniček-Šoša, I., Mršić, D. i Schnurrer-Luke-Vrbanić, T. (2022). Neurorehabilitacija i robotika kod osoba s hemiparezom gornjeg ekstremiteta nakon moždanog udara. *Medicina Fluminensis*, 58 (4), 407-415.
11. Baniček Šoša, I., Mršić, D., Imgrund, J., Nemrva, J. i Jajić, O. (2017). Učinak primjene robotičkog sustava u neurorehabilitaciji ruke osoba koje su preboljele moždani udar. *Physiotherapia Croatica, 14(Suppl) (1.)*, 32-37. Preuzeto s <https://hrcak.srce.hr/174014>
12. Baronchelli, F., Zucchella, C., Serrao, M., Intiso, D., i Bartolo, M. (2021). The Effect of Robotic Assisted Gait Training With Lokomat® on Balance Control After Stroke: Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in neurology*, 12, 661815. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.661815>
13. Barrett, R. S., i Lichtwark, G. A. (2010). Gross muscle morphology and structure in spastic cerebral palsy: a systematic review. *Developmental medicine and child neurology*, 52(9), 794–804. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2010.03686.x>
14. Bayón, C., i Raya, R. (2016). Robotic therapies for children with cerebral palsy: A systematic review. *Translational Biomedicine*, 7(1). doi:10.21767/2172-0479.100044
15. Bekteshi, S., Monbaliu, E., McIntyre, S., Saloojee, G., Hilberink, S. R., Tatishvili, N., i Dan, B. (2023). Towards functional improvement of motor disorders associated with cerebral palsy. *The Lancet. Neurology*, 22(3), 229–243.  
[https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(23\)00004-2](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(23)00004-2)
16. Beretta, E., Cesareo, A., Biffi, E., Schafer, C., Galbiati, S., & Strazzer, S. (2018). Rehabilitation of Upper Limb in Children with Acquired Brain Injury: A Preliminary Comparative Study. *Journal of healthcare engineering*, 2018, 4208492. <https://doi.org/10.1155/2018/4208492>
17. Beretta, E., Cesareo, A., Biffi, E., Schafer, C., Galbiati, S., & Strazzer, S. (2018). Rehabilitation of Upper Limb in Children with Acquired Brain Injury: A Preliminary Comparative Study. *Journal of healthcare engineering*, 2018, 4208492. <https://doi.org/10.1155/2018/4208492>

18. Biffi, E., Maghini, C., Cairo, B., Beretta, E., Peri, E., Altomonte, D., Mazzoli, D., Giacobbi, M., Prati, P., Merlo, A., i Strazzer, S. (2018). Movement Velocity and Fluidity Improve after Armeo®Spring Rehabilitation in Children Affected by Acquired and Congenital Brain Diseases: An Observational Study. *BioMed research international*, 2018, 1537170. <https://doi.org/10.1155/2018/1537170>
19. Biringen, Z., Emde, R. N., Campos, J. J., i Appelbaum, M. I. (1995). Affective reorganization in the infant, the mother, and the dyad: the role of upright locomotion and its timing. *Child development*, 66(2), 499–514.
20. Bishop, L., Gordon, A. M., i Kim, H. (2017). Hand Robotic Therapy in Children with Hemiparesis: A Pilot Study. *American journal of physical medicine & rehabilitation*, 96(1), 1–7. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000000537>
21. Bonanno, M., Militi, A., La Fauci Belponer, F., De Luca, R., Leonetti, D., Quartarone, A., ... i Calabro, R. S. (2023). Rehabilitation of Gait and Balance in Cerebral Palsy: a scoping review on the Use of Robotics with Biomechanical Implications. *Journal of Clinical Medicine*, 12(9), 3278.
22. Bošnjak, V. M., & Đaković, I. (2013). Europska klasifikacija cerebralne paralize. *Paediatr Croat*, 57(1), 93-7.
23. Brændvik, S. M., Gohl, T., Braaten, R. S., i Vereijken, B. (2020). The Effect of Increased Gait Speed on Asymmetry and Variability in Children With Cerebral Palsy. *Frontiers in neurology*, 10, 1399. <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.01399>
24. Bressi, F., Cricenti, L., Bravi, M., Pannunzio, F., Cordella, F., Lapresa, M., Miccinilli, S., Santacaterina, F., Zollo, L., Sterzi, S., i Campagnola, B. (2023). Treatment of the Paretic Hand with a Robotic Glove Combined with Physiotherapy in a Patient Suffering from Traumatic Tetraparesis: A Case Report. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 23(7), 3484. <https://doi.org/10.3390/s23073484>
25. Brisben, A., Safos, C., Lockerd, A., Vice, J., i Lathan, C. (2005). The cosmobot system: Evaluating its usability in therapy sessions with children diagnosed with cerebral palsy. *Retrieved on*, 3(25), 13.
26. Bykova, K. M., Frank, U., i Girolami, G. L. (2023). Eating and Drinking Ability Classification System to detect aspiration risk in children with cerebral palsy: a validation study. *European journal of pediatrics*, 182(7), 3365–3373. <https://doi.org/10.1007/s00431-023-04998-y>

27. Cano-de-la-Cuerda, R., Blázquez-Fernández, A., Marcos-Antón, S., Sánchez-Herrera-Baeza, P., Fernández-González, P., Collado-Vázquez, S., Jiménez-Antona, C., i Laguarda-Val, S. (2024). Economic Cost of Rehabilitation with Robotic and Virtual Reality Systems in People with Neurological Disorders: A Systematic Review. *Journal of clinical medicine*, 13(6), 1531.  
<https://doi.org/10.3390/jcm13061531>
28. Cans, C., Dolk, H., Platt, M. J., & Colver, A. (2007). Recommendations from the SCPE collaborative group for defining and classifying cerebral palsy. *Developmental medicine and child neurology*, 49, 35.
29. Chabrier, S., Pouyfaucou, M., Chatelin, A., Bleyenheuft, Y., Fluss, J., Gautheron, V., ... Dinomais, M. (2020). From congenial paralysis to post-early brain injury developmental condition: Where does cerebral palsy actually stand? *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 63(5), 431–438.
30. Chunhee, C., Wonjeong, H., Sujin, H., i Yijung, C. (2016). Treadmill Training with Virtual Reality Improves Gait, Balance, and Muscle Strength in Children with Cerebral Palsy. *The Tohoku journal of experimental medicine*, 238(3), 213-218.
31. Cimolin, V., Germiniasi, C., Galli, M., Condoluci, C., Beretta, E., i Piccinini, L. (2019). Robot-assisted upper limb training for hemiplegic children with cerebral palsy. *Journal of Developmental and Physical Disabilities*, 31(1), 89–101.
32. Compagnone, E., Maniglio, J., Camposeo, S., Vespino, T., Losito, L., De Rinaldis, M., Gennaro, L., i Trabacca, A. (2014). Functional classifications for cerebral palsy: correlations between the gross motor function classification system (GMFCS), the manual ability classification system (MACS) and the communication function classification system (CFCS). *Research in developmental disabilities*, 35(11), 2651–2657. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2014.07.005>
33. Cooper, M. S., Mackay, M. T., Dagia, C., Fahey, M. C., Howell, K. B., Reddihough, D., Reid, S., i Harvey, A. S. (2023). Epilepsy syndromes in cerebral palsy: varied, evolving and mostly self-limited. *Brain : a journal of neurology*, 146(2), 587–599. <https://doi.org/10.1093/brain/awac274>
34. Demarin, V. i Morović, S. (2014). Neuroplasticity. *Periodicum biologorum*, 116 (2), 209-211. Preuzeto s <https://hrcak.srce.hr/126369>
35. Dufresne, D., Dagenais, L., Shevell, M. I., i REPACQ Consortium (2014). Epidemiology of severe hearing impairment in a population-based cerebral palsy cohort. *Pediatric neurology*, 51(5), 641–644.



36. Duret, C., Courtial, O., Grosmaire, A. G., i Hutin, E. (2015). 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 process. *BioMed Research International*, 2015(1), 482389.
37. Đurić, D., Ilić, S., Shaima, A., Ameera, A., i Tariq, A. Y. (2023). Effect of robotic-assisted gait training as adjunct to traditional therapy on motor impairments in children with cerebral palsy. *Acta facultatis medicae Naissensis*, 40(1), 102-109.
38. Elvrum, A. K. G., Johansen, G. O., Vik, T., i Krumlinde-Sundholm, L. (2022). External validity of the Both Hands Assessment for evaluating bimanual performance in children with bilateral cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 64(5), 586-592.
39. Erjavec, L., Telebuh, M., Grozdek Čovčić, G. i Delaš, K. (2019). Robotika i neurofizioterapija nakon moždanog udara. *Journal of Applied Health Sciences = Časopis za primijenjene zdravstvene znanosti*, 5 (2), 237-242.
40. Faccioli, S., Pagliano, E., Ferrari, A., Maghini, C., Siani, M. F., Sgherri, G., Cappetta, G., Borelli, G., Farella, G. M., Foscan, M., Viganò, M., Sghedoni, S., Perazza, S., i Sassi, S. (2023). Evidence-based management and motor rehabilitation of cerebral palsy children and adolescents: a systematic review. *Frontiers in neurology*, 14, 1171224.
41. Falzarano, V., Marini, F., Morasso, P., i Zenzeri, J. (2019). Devices and protocols for upper limb robot-assisted rehabilitation of children with neuromotor disorders. *Applied Sciences*, 9(13), 2689.
42. Fasoli, S. E., Fragala-Pinkham, M., Hughes, R., Hogan, N., Stein, J., i Krebs, H. I. (2010). Upper limb robot-assisted therapy: A new option for children with hemiplegia. *Technology and disability*, 22(4), 193-198.
43. Fluss, J., i Lidzba, K. (2020). Cognitive and academic profiles in children with cerebral palsy: A narrative review. *Annals of physical and rehabilitation medicine*, 63(5), 447–456. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2020.01.005>
44. Fu, W. S., Song, Y. C., Wu, B. A., Qu, C. H., i Zhao, J. F. (2022). Virtual reality combined with robot-assisted gait training to improve walking ability of children with cerebral palsy: A randomized controlled trial. *Technology and Health Care*, 30(6), 1525-1533.

45. Gassert, R., i Dietz, V. (2018). Rehabilitation robots for the treatment of sensorimotor deficits: a neurophysiological perspective. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 15, 1-15.
46. Gassert, R., i Dietz, V. (2018). Rehabilitation robots for the treatment of sensorimotor deficits: a neurophysiological perspective. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 15(1), 46. <https://doi.org/10.1186/s12984-018-0383-x>
47. Gaudet, G., Raison, M., i Achiche, S. (2021). Current Trends and Challenges in Pediatric Access to Sensorless and Sensor-Based Upper Limb Exoskeletons. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 21(10), 3561. <https://doi.org/10.3390/s21103561>
48. Glavić, J., Rutović, S., Kristić-Cvitanović, N., Burić, P., & Petrović, A. (2016). Technology-enhanced upper limb physical rehabilitation in hemiplegic cerebral palsy. *Int J Neurorehabilitation Eng*, 3, 4
49. Gong, C., Zeng, P., Lian, B., Li, J., Liu, J., Liu, Y., ... i Zhou, S. (2023). Association of risk factor and the number of risk factors with classification, GMFCS and comorbidity of CP.
50. Gonzalez, A., Garcia, L., Kilby, J., i McNair, P. (2021). Robotic devices for paediatric rehabilitation: a review of design features. *Biomedical engineering online*, 20(1), 89. <https://doi.org/10.1186/s12938-021-00920-5>
51. Guimarães, A., Pereira, A., Oliveira, A., Lopes, S., Nunes, A. R., Zanatta, C., & Rosário, P. (2023). Parenting in Cerebral Palsy: Understanding the Perceived Challenges and Needs Faced by Parents of Elementary School Children. *International journal of environmental research and public health*, 20(5), 3811. <https://doi.org/10.3390/ijerph20053811>
52. Gulati, S., & Sondhi, V. (2018). Cerebral palsy: An overview. *Indian Journal of Pediatrics*, 85(11), 1006–1016. doi:10.1007/s12098-017-2475-1
53. Guru, A., Yadav, A. S., i Sontakke, T. (2023). The Rehabilitation Interventions and Adaptive Technologies Used for Treating Patients With Cerebral Palsy. *Cureus*, 15(11), e49153. <https://doi.org/10.7759/cureus.49153>
54. Hesse, S., Schattat, N., Mehrholz, J., i Werner, C. (2013). Evidence of end-effector based gait machines in gait rehabilitation after CNS lesion. *NeuroRehabilitation*, 33(1), 77–84. <https://doi.org/10.3233/NRE-130930>

55. Hilderley, A. J., Fehlings, D., Lee, G. W., i Wright, F. V. (2016). Comparison of a robotic-assisted gait training program with a program of functional gait training for children with cerebral palsy: design and methods of a two group randomized controlled cross-over trial. *Springerplus*, 5, 1-14.
56. Hilderley, A. J., Wright, F. V., Taylor, M. J., Chen, J. L., i Fehlings, D. (2023). Functional Neuroplasticity and Motor Skill Change Following Gross Motor Interventions for Children With Diplegic Cerebral Palsy. *Neurorehabilitation and neural repair*, 37(1), 16–26. <https://doi.org/10.1177/15459683221143503>
57. Himpens, E., Van den Broeck, C., Oostra, A., Calders, P., & Vanhaesebrouck, P. (2008). Prevalence, type, distribution, and severity of cerebral palsy in relation to gestational age: a meta-analytic review. *Developmental medicine and child neurology*, 50(5), 334–340. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2008.02047.x>
58. Horvatić, J., Joković Oreb, I. i Pinjatela, R. (2009). Oštećenja središnjeg živčanog sustava. *Hrvatska revija za rehabilitacijska istraživanja*, 45 (1), 99-110. Preuzeto [shttps://hrcak.srce.hr/45636](https://hrcak.srce.hr/45636)
59. Hrvatski zavod za javno zdravstvo (2022) Nacionalni dan osoba s cerebralnom paralizom. Preuzeto 10.3.2024. s <https://www.hzjz.hr/sluzba-javno-zdravstvo/nacionalnidan-osoba-scerebralnom-paralizom>
60. Huang, X., Naghdy, F., Naghdy, G., i Du, H. (2017). Clinical effectiveness of combined virtual reality and robot assisted fine hand motion rehabilitation in subacute stroke patients. *IEEE ... International Conference on Rehabilitation Robotics : [proceedings]*, 2017, 511–515. <https://doi.org/10.1109/ICORR.2017.8009299>
61. Iandolo, R., Marini, F., Semprini, M., Laffranchi, M., Mugnosso, M., Cherif, A. i Zenzeri, J. (2019). Perspectives and challenges in robotic neurorehabilitation. *Applied Sciences*, 9(15), 3183.
62. Ibrahim, H. A., Ammar, H. H., & Shalaby, R. (2022). A review of upper limb robot assisted therapy techniques and virtual reality applications. *IAES International Journal of Artificial Intelligence*, 11(2), 613.
63. Ivanova, E., Krause, A., Schalicke, M., Schellhardt, F., Jankowski, N., Achner, J., Schmidt, H., Joebges, M. i Kruger, J. (2017). Let's do this together: Bi-Manu-Interact, a novel device for studying human haptic interactive behavior. *IEEE ... International Conference on Rehabilitation Robotics : [proceedings]*, 2017, 708–713. <https://doi.org/10.1109/ICORR.2017.8009331>

64. Jouaiti, M. i Dautenhahn, K. (2023). Robot-assisted therapy for upper limb impairments in cerebral palsy: A scoping review and suggestions for future research. *Paladyn, Journal of Behavioral Robotics*, 14(1), 20220104. <https://doi.org/10.1515/pjbr-2022-0104>
65. Jovellar-Isiegas, P., Resa Collados, I., Jaén-Carrillo, D., Roche-Seruendo, L. E., & Cuesta Garcia, C. (2020). Sensory processing, functional performance and quality of life in unilateral cerebral palsy children: a cross-sectional study. *International journal of environmental research and public health*, 17(19), 7116.
66. Kanchan, A., Singh, A. R., Khan, N. A., Jahan, M., Raman, R., i Sathyanarayana Rao, T. S. (2018). Impact of neuropsychological rehabilitation on activities of daily living and community reintegration of patients with traumatic brain injury. *Indian journal of psychiatry*, 60(1), 38–48. [https://doi.org/10.4103/psychiatry.IndianJPsychiatry\\_118\\_17](https://doi.org/10.4103/psychiatry.IndianJPsychiatry_118_17)
67. Karabegović, I., Karabegović, E. i Husak, E. (2013). Primjena servisnih robota u rehabilitaciji i pomoći bolesnicima. *Medicina Fluminensis: Medicina Fluminensis*, 49(2), 167-174.
68. Katušić, A. (2012): Cerebralna paraliza: Redefiniranje i klasifikacija. *Hrvatska revija za znanstvena istraživanja* (2012), vol.48., br.1, str.117-126.
69. Katušić, A., Milašević, D. i Gagula, J. (2019). Instrumenti procjene grubih motoričkih funkcija u djece s cerebralnom paralizom. *Hrvatska revija za rehabilitacijska istraživanja*, 55 (1), 59-67. <https://doi.org/10.31299/hrri.55.1.6>
70. Knežić, M. (2015). Zdravstvena njega osoba s cerebralnom paralizom Health care of people with cerebral paralysis. *Sestrinski glasnik*, 20 (3), 250-253. <https://doi.org/10.11608/sgnj.2015.20.049>
71. Krägeloh-Mann, I., i Horber, V. (2007). The role of magnetic resonance imaging in elucidating the pathogenesis of cerebral palsy: a systematic review. *Developmental medicine and child neurology*, 49(2), 144–151. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2007.00144.x>
72. Kraguljac, D., Brenčić, M., Zibar, T. i Schnurrer Luke-Vrbanić, T. (2018). Habilitacija djece s cerebralnom paralizom. *Medicina Fluminensis*, 54 (1), 6-17. [https://doi.org/10.21860/medflum2018\\_192883](https://doi.org/10.21860/medflum2018_192883)
73. Larina, N. V., Pavlenko, V. B., Korsunskaya, L. L., Dyagileva Yu, O., Falaleev, A. P., Mikhailova, A. A., ... i Ponomareva, I. V. (2020). Rehabilitation possibilities

- for children with cerebral palsy through the use of robotic devices and biofeedback. *Bulletin of Siberian Medicine*, 19(3), 156-165.
74. Laut, J., Porfiri, M., i Raghavan, P. (2016). The Present and Future of Robotic Technology in Rehabilitation. *Current physical medicine and rehabilitation reports*, 4(4), 312–319. <https://doi.org/10.1007/s40141-016-0139-0>
  75. Laut, J., Porfiri, M., i Raghavan, P. (2016). The Present and Future of Robotic Technology in Rehabilitation. *Current physical medicine and rehabilitation reports*, 4(4), 312–319. <https://doi.org/10.1007/s40141-016-0139-0>
  76. Lenz, M., Kruse, P., Eichler, A., Straehle, J., Beck, J., Deller, T., i Vlachos, A. (2021). All-trans retinoic acid induces synaptic plasticity in human cortical neurons. *eLife*, 10, e63026. <https://doi.org/10.7554/eLife.63026>
  77. Li, X., i Arya, K. (2022). Athetoid Cerebral Palsy. In *StatPearls*. StatPearls Publishing.
  78. Llamas-Ramos, R., Sánchez-González, J. L., i Llamas-Ramos, I. (2022). Robotic Systems for the Physiotherapy Treatment of Children with Cerebral Palsy: A Systematic Review. *International journal of environmental research and public health*, 19(9), 5116. <https://doi.org/10.3390/ijerph19095116>
  79. Lockerd, A. D., Brisben, A. J., i Lathan, C. E. (2004). Robotic Toolkit for Pediatric Rehabilitation, Assessment and Monitoring. *Annual Review of CyberTherapy and Telemedicine*, 59.
  80. Lünenburger, L., Colombo, G., Riener, R., i Dietz, V. (2004). Biofeedback in gait training with the robotic orthosis Lokomat. *Conference proceedings : ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual Conference, 2004*, 4888–4891. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2004.1404352>
  81. Marchal-Crespo, L., i Reinkensmeyer, D. J. (2009). Review of control strategies for robotic movement training after neurologic injury. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 6, 1-15.
  82. Mašić, V., Šečić, A., Trošt Bobić, T. i Femec, L. (2020). Neuroplastičnost i čitanje Brailleova pisma. *Acta clinica Croatica*, 59. (1.), 153-153. <https://doi.org/10.20471/acc.2020.59.01.18>
  83. Mateos-Aparicio, P., i Rodríguez-Moreno, A. (2019). The Impact of Studying Brain Plasticity. *Frontiers in cellular neuroscience*, 13, 66. <https://doi.org/10.3389/fncel.2019.00066>

84. McAllister, A., Sjöstrand, E., i Rodby-Bousquet, E. (2022). Eating and drinking ability and nutritional status in adults with cerebral palsy. *Developmental medicine and child neurology*, 64(8), 1017–1024. <https://doi.org/10.1111/dmcn.15196>
85. McCoy, S. W., Palisano, R., Avery, L., Jeffries, L., Laforme Fiss, A., Chiarello, L., i Hanna, S. (2020). Physical, occupational, and speech therapy for children with cerebral palsy. *Developmental medicine and child neurology*, 62(1), 140–146. <https://doi.org/10.1111/dmcn.14325>
86. McKinnon, C. T., Morgan, P. E., Antolovich, G. C., Clancy, C. H., Fahey, M. C., i Harvey, A. R. (2020). Pain in children with dyskinetic and mixed dyskinetic/spastic cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 62(11), 1294-1301.
87. Mejaški-Bošnjak, V. (2007). Neurološki sindromi dojenačke dobi i cerebralna paraliza. *Paediatrica Croatica*, 51(1), 120-129.
88. Mendoza-Sengco, P., Lee Chicoine, C., i Vargus-Adams, J. (2023). Early Cerebral Palsy Detection and Intervention. *Pediatric clinics of North America*, 70(3), 385–398. <https://doi.org/10.1016/j.pcl.2023.01.014>
89. Mioč, T., Pinjatela, R., i Matijević, V. (2017). Učinkovitost metode prisilno induciranog pokreta temeljena na znanstvenim dokazima-Metoda prisilno induciranog pokreta. *Fizikalna i rehabilitacijska medicina*, 29(1-2), 10-23.
90. Mirzakhani, K., Ebadi, A., Faridhosseini, F., i Khadivzadeh, T. (2020). Well-being in high-risk pregnancy: an integrative review. *BMC Pregnancy and Childbirth*, 20, 1-14.
91. Mishra, T. A., Shrestha, S., Prajapati Manandhar, B., i Sharma, P. (2022). The Risk Factors of Cerebral Palsy among the Children Attending a Children's Hospital. *Journal of Nepal Health Research Council*, 19(4), 778–783. <https://doi.org/10.33314/jnhrc.v19i04.3808>
92. Morgan, C., Fetters, L., Adde, L., Badawi, N., Bancale, A., Boyd, R. N., ... i Novak, I. (2021). Early intervention for children aged 0 to 2 years with or at high risk of cerebral palsy: international clinical practice guideline based on systematic reviews. *JAMA pediatrics*, 175(8), 846-858.
93. Nam, K. Y., Kim, H. J., Kwon, B. S., Park, J. W., Lee, H. J., i Yoo, A. (2017). Robot-assisted gait training (Lokomat) improves walking function and activity in people with spinal cord injury: a systematic review. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 14(1), 24. <https://doi.org/10.1186/s12984-017-0232-3>



94. Nikolić, G. (2016). MEDICINA - PERSPEKTIVNO PODRUČJE PRIMJENE ROBOTIKE. *Polytechnic and design*, 4 (3), 208-224.  
<https://doi.org/10.19279/TVZ.PD.2016-4-3-01>
95. Nooijen, C. F., Slaman, J., Stam, H. J., Roebroek, M. E., Berg-Emons, R. J., i Learn2Move Research Group (2014). Inactive and sedentary lifestyles amongst ambulatory adolescents and young adults with cerebral palsy. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 11, 49. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-11-49>
96. Novak, I., Morgan, C., Adde, L., Blackman, J., Boyd, R. N., Brunstrom-Hernandez, J., Cioni, G., Damiano, D., Darrach, J., Eliasson, A. C., de Vries, L. S., Einspieler, C., Fahey, M., Fehlings, D., Ferriero, D. M., Fethers, L., Fiori, S., Forssberg, H., Gordon, A. M., Greaves, S., Badawi, N. (2017). Early, Accurate Diagnosis and Early Intervention in Cerebral Palsy: Advances in Diagnosis and Treatment. *JAMA pediatrics*, 171(9), 897–907.  
<https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2017.1689>
97. Oberholzer, M., i Müri, R. M. (2019). Neurorehabilitation of Traumatic Brain Injury (TBI): A Clinical Review. *Medical sciences (Basel, Switzerland)*, 7(3), 47.  
<https://doi.org/10.3390/medsci7030047>
98. Ogoke, C. C. (2018). Clinical classification of cerebral palsy. *Cerebral Palsy- Clinical and Therapeutic Aspects*, 1, 1-23.
99. Paul, S., Nahar, A., Bhagawati, M., i Kunwar, A. J. (2022). A review on recent advances of cerebral palsy. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2022(1), 2622310.
100. Paušić, V., Jovanović, G., i Simić, S. (2021). Robotics in physical medicine and neurorehabilitation. *Medicinski pregled*, 74(1-2), 50-53.
101. Pavone, V., i Testa, G. (2015). Classification of cerebral Palsy. *Orthopedic Management of Children with Cerebral Palsy. A Comprehensive Approach*. New York, NY: NOVA, 75-98.
102. Pham, R., Mol, B. W., Gecz, J., MacLennan, A. H., MacLennan, S. C., Corbett, M. A., Eyk, C.L., Webber, D.L. i Berry, J. G. (2020). Definition and diagnosis of cerebral palsy in genetic studies: a systematic review. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 62(9), 1024-1030.
103. Phelan, S. K., Gibson, B. E., i Wright, F. V. (2015). What is it like to walk with the help of a robot? Children's perspectives on robotic gait training

- technology. *Disability and rehabilitation*, 37(24), 2272–2281.  
<https://doi.org/10.3109/09638288.2015.1019648>
104. Piscitelli, D., Ferrarello, F., Ugolini, A., Verola, S., i Pellicciari, L. (2021). Measurement properties of the Gross Motor Function Classification System, Gross Motor Function Classification System-Expanded & Revised, Manual Ability Classification System, and Communication Function Classification System in cerebral palsy: a systematic review with meta-analysis. *Developmental medicine and child neurology*, 63(11), 1251–1261. <https://doi.org/10.1111/dmcn.14910>
105. Pospíš, M. (1996): Cerebralna paraliza-multidisciplinarni pristup. Varaždinske toplice: Tonimir
106. Puderbaugh, M., i Emmady, P. D. (2023). Neuroplasticity. In *StatPearls*. StatPearls Publishing.
107. Qian, G., Cai, X., Xu, K., Tian, H., Meng, Q., Ossowski, Z., i Liang, J. (2023). Which gait training intervention can most effectively improve gait ability in patients with cerebral palsy? A systematic review and network meta-analysis. *Frontiers in neurology*, 13, 1005485.  
<https://doi.org/10.3389/fneur.2022.1005485>
108. Rauchenzauner, M., Schiller, K., Honold, M., Baldissera, I., Biedermann, R., Tschiderer, B., ... i Rostasy, K. (2021). Visual impairment and functional classification in children with cerebral palsy. *Neuropediatrics*, 52(05), 383-389.
109. Reddihough, D. S., i Collins, K. J. (2003). The epidemiology and causes of cerebral palsy. *Australian Journal of physiotherapy*, 49(1), 7-12.
110. Riener, R. (2013). Rehabilitation robotics. *Foundations and Trends® in Robotics*, 3(1–2), 1-137.
111. Ružman, L., Brnad, M., Kolić, I., Radić Nišević, J., Mahulja Stamenković, V., Kraguljac, D. i Prpić, I. (2019). Rizični i etiološki čimbenici u terminske novorođenčadi za nastanak cerebralne paralize. *Paediatrica Croatica*, 63 (1), 6-9.  
<https://doi.org/10.13112/PC.2019.2>
112. Sadowska, M., Sarecka-Hujar, B., Kopyta, I. (2020). Cerebral palsy: Current Opinions on Definition, Epidemiology, Risk Factors, Classification and Treatment Options. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*. 1505-1518
113. Sale, P., Lombardi, V., & Franceschini, M. (2012). Hand robotics rehabilitation: feasibility and preliminary results of a robotic treatment in patients



with hemiparesis. *Stroke Research and Treatment*, 2012, 820931.

doi:10.1155/2012/820931

114. Sanchez, R. J., Liu, J., Rao, S., Shah, P., Smith, R., Rahman, T., Cramer, S. C., Bobrow, J. E., & Reinkensmeyer, D. J. (2006). Automating arm movement training following severe stroke: functional exercises with quantitative feedback in a gravity-reduced environment. *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering : a publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 14(3), 378–389. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2006.881553>
115. Sanger, T. D., Chen, D., Fehlings, D. L., Hallett, M., Lang, A. E., Mink, J. W., Singer, H. S., Alter, K., Ben-Pazi, H., Butler, E. E., Chen, R., Collins, A., Dayanidhi, S., Forssberg, H., Fowler, E., Gilbert, D. L., Gorman, S. L., Gormley, M. E., Jr, Jinnah, H. A., Kornblau, B. i Valero-Cuevas, F. (2010). Definition and classification of hyperkinetic movements in childhood. *Movement disorders : official journal of the Movement Disorder Society*, 25(11), 1538–1549. <https://doi.org/10.1002/mds.23088>
116. Sankar, C., i Mundkur, N. (2005). Cerebral palsy-definition, classification, etiology and early diagnosis. *Indian journal of pediatrics*, 72(10), 865–868. <https://doi.org/10.1007/BF02731117>
117. Santos, A. J., Braz, P., Folha, T., Machado, A., & Matias-Dias, C. (2023). Parents of Children Diagnosed with Congenital Anomalies or Cerebral Palsy: Identifying Needs in Interaction with Healthcare Services. *Children*, 10(6), 1051.
118. Schnurrer-Luke-Vrbanić, T. (2016). Robotika u neurorehabilitaciji: jučer, danas, sutra. *Fizikalna i rehabilitacijska medicina*, 28 (1-2), 14-23. Preuzeto s <https://hrcak.srce.hr/163321>
119. Scime, N. V., Bartlett, D. J., Brunton, L. K., i Palisano, R. J. (2017). Parents' Experiences and Perceptions when Classifying their Children with Cerebral Palsy: Recommendations for Service Providers. *Physical & occupational therapy in pediatrics*, 37(3), 252–267. <https://doi.org/10.1080/01942638.2016.1185505>
120. Serrano-López Terradas, P. A., Criado Ferrer, T., Jakob, I., i Calvo-Arenillas, J. I. (2022). Quo Vadis, Amadeo Hand Robot? A Randomized Study with a Hand Recovery Predictive Model in Subacute Stroke. *International journal of environmental research and public health*, 20(1), 690. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010690>

121. Shaffer J. (2016). Neuroplasticity and Clinical Practice: Building Brain Power for Health. *Frontiers in psychology*, 7, 1118.  
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01118>
122. Sharma, P., Gupta, M., i Kalra, R. (2023). Recent advancements in interventions for cerebral palsy—A review. *Journal of Neurorestoratology*, 11(3), 100071.
123. Sharova, O., Smiyan, O., & Borén, T. (2021). Immunological effects of cerebral palsy and rehabilitation exercises in children. *Brain, Behavior, & Immunity-Health*, 18, 100365.
124. Smania, N., Bonetti, P., Gandolfi, M., Cosentino, A., Waldner, A., Hesse, S., Werner, C., Bisoffi, G., Geroin, C., i Munari, D. (2011). Improved gait after repetitive locomotor training in children with cerebral palsy. *American journal of physical medicine & rehabilitation*, 90(2), 137–149.  
<https://doi.org/10.1097/PHM.0b013e318201741e>
125. Spelitz, S. (2020). *BrainGait-Ganganalyse und Visualisierung in durch Robotik gestützter Rehabilitation* (Doctoral dissertation, Wien).
126. Stein, J., Krebs, H. I., Frontera, W. R., Fasoli, S. E., Hughes, R., i Hogan, N. (2004). Comparison of two techniques of robot-aided upper limb exercise training after stroke. *American journal of physical medicine & rehabilitation*, 83(9), 720–728.
127. Surveillance of Cerebral Palsy in Europe (SCPE). (2001). Surveillance of cerebral palsy in Europe: a collaboration of cerebral palsy surveys and registers. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 42(12), 816.  
doi:10.1017/s0012162200001511
128. Tegegne K. T. (2023). Determinants of cerebral palsy in children: systematic review. *Sudanese journal of paediatrics*, 23(2), 126–144.  
<https://doi.org/10.24911/SJP.106-1670589241>
129. Tierney, A. L., i Nelson, C. A., 3rd (2009). Brain Development and the Role of Experience in the Early Years. *Zero to three*, 30(2), 9–13.
130. Tomaj, M. i Marinčić, M. (2018). Utjecaj primjene Amadea u neurorehabilitaciji ruke kod osoba nakon moždanog udara. *Journal of Applied Health Sciences = Časopis za primijenjene zdravstvene znanosti*, 4 (2), 257-264
131. Towsley, K., Shevell, M. I., Dagenais, L., i REPACQ Consortium (2011). Population-based study of neuroimaging findings in children with cerebral

- palsy. *European journal of paediatric neurology : EJPN : official journal of the European Paediatric Neurology Society*, 15(1), 29–35.  
<https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2010.07.005>
132. Trabacca, A., Vespino, T., Di Liddo, A., i Russo, L. (2016). Multidisciplinary rehabilitation for patients with cerebral palsy: improving long-term care. *Journal of multidisciplinary healthcare*, 9, 455–462.  
<https://doi.org/10.2147/JMDH.S88782>
133. Turner, D. L., Ramos-Murguialday, A., Birbaumer, N., Hoffmann, U., i Luft, A. (2013). Neurophysiology of robot-mediated training and therapy: a perspective for future use in clinical populations. *Frontiers in neurology*, 4, 184.  
<https://doi.org/10.3389/fneur.2013.00184>
134. Ungureanu, A., Rusu, L., Rusu, M. R., i Marin, M. I. (2022). Balance Rehabilitation Approach by Bobath and Vojta Methods in Cerebral Palsy: A Pilot Study. *Children (Basel, Switzerland)*, 9(10), 1481.  
<https://doi.org/10.3390/children9101481>
135. Usuba, K., Oddson, B., Gauthier, A., i Young, N. L. (2014). Changes in gross motor function and health-related quality of life in adults with cerebral palsy: an 8-year follow-up study. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 95(11), 2071–2077.e1. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2014.05.018>
136. van Hedel, H. J. A., Rosselli, I., i Baumgartner-Ricklin, S. (2021). Clinical utility of the over-ground bodyweight-supporting walking system Andago in children and youths with gait impairments. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 18(1), 29. <https://doi.org/10.1186/s12984-021-00827-1>
137. Voss, P., Thomas, M. E., Cisneros-Franco, J. M., i de Villers-Sidani, É. (2017). Dynamic Brains and the Changing Rules of Neuroplasticity: Implications for Learning and Recovery. *Frontiers in psychology*, 8, 1657.  
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01657>
138. Wagner, F. B., Mignardot, J. B., Le Goff-Mignardot, C. G., Demesmaeker, R., Komi, S., Capogrosso, M., ... i Courtine, G. (2018). Targeted neurotechnology restores walking in humans with spinal cord injury. *Nature*, 563(7729), 65-71.
139. Wimalasundera, N., i Stevenson, V. L. (2016). Cerebral palsy. *Practical neurology*, 16(3), 184–194. <https://doi.org/10.1136/practneurol-2015-001184>
140. Yakub, F., Md Khudzari, A. Z., i Mori, Y. (2014). Recent trends for practical rehabilitation robotics, current challenges and the future. *International journal of*

*rehabilitation research. Internationale Zeitschrift fur Rehabilitationsforschung.*  
*Revue internationale de recherches de readaptation, 37(1), 9–21.*

<https://doi.org/10.1097/MRR.0000000000000035>

141. Zanatta, F., Steca, P., Fundarò, C., Giardini, A., Felicetti, G., Panigazzi, M., Arbasi, G., Grilli, C., D'Addario, M., i Pierobon, A. (2023). Biopsychosocial effects and experience of use of robotic and virtual reality devices in neuromotor rehabilitation: A study protocol. *PloS one, 18(3)*, e0282925.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0282925>