

Učinkovitost primjene robotike u rehabilitaciji osoba nakon moždanog udara

Sunara, Antea

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Health Studies / Sveučilište u Rijeci, Fakultet zdravstvenih studija u Rijeci**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:184:400455>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-11**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Health Studies - FHSRI Repository](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI
FAKULTET ZDRAVSTVENIH STUDIJA
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ FIZIOTERAPIJE

Antea Sunara

UČINKOVITOST PRIMJENE ROBOTIKE U REHABILITACIJI OSOBA NAKON
MOŽDANOG UDARA: pregledni rad

Završni rad

Rijeka, 2022.

UNIVERSITY OF RIJEKA
FACULTY OF HEALTH STUDIES
UNDERGRADUATE PROFESSIONAL STUDY OF PHYSICAL THERAPY

Antea Sunara

EFFICIENCY OF ROBOTICS APPLICATION IN REHABILITATION OF STROKE

PATIENTS: review

Bachelor thesis

Rijeka, 2022.

Izvešće o provedenoj provjeri izvornosti studentskog rada

Opći podatci o studentu:

Sastavnica	Fakultet zdravstvenih studija
Studij	Preddiplomski stručni studij fizioterapije
Vrsta studentskog rada	Završni rad
Ime i prezime studenta	Antea Sunara
JMBAG	0351009512 9

Podatci o radu studenta:

Naslov rada	UČINKOVITOST PRIMJENE ROBOTIKE U REHABILITACIJI OSOBA NAKON MOŽDANOG UDARA
Ime i prezime mentora	Verner Marijančić mag.rehab.educ.
Datum predaje rada	09. kolovoz 2022.
Identifikacijski br. podneska	1880724288
Datum provjere rada	09. kolovoz 2022.
Ime datoteke	Završni_rad_Sunara__2.docx
Veličina datoteke	2.73M
Broj znakova	73,967
Broj riječi	11,618
Broj stranica	50

Podudarnost studentskog rada:

Podudarnost (%)	2 %
-----------------	-----

Izjava mentora o izvornosti studentskog rada

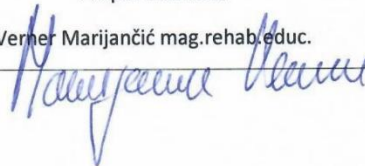
Mišljenje mentora	
Datum izdavanja mišljenja	09. kolovoz 2022.
Rad zadovoljava uvjete izvornosti	<input checked="" type="checkbox"/> Da
Rad ne zadovoljava uvjete izvornosti	<input type="checkbox"/>
Obrazloženje mentora (po potrebi dodati zasebno)	

Datum

09. kolovoz 2022.

Potpis mentora

Verner Marijančić mag.rehab.educ.



Rijeka, 24. svibnja 2022.

Odobrenje nacрта završnog rada

Povjerenstvo za završne i diplomske radove Fakulteta zdravstvenih studija Sveučilišta u Rijeci
odobrava nacrt završnog rada:

UČINKOVITOST PRIMJENE ROBOTIKE U REHABILITACIJI OSOBA NAKON
MOŽDANOG UDARA
EFFICIENCY OF ROBOTICS APPLICATION IN REHABILITATION OF STROKE
PATIENTS

Student: Antea Sunara
Mentor: Verner Marijančić, mag. rehab. educ.
Sveučilište u Rijeci, Fakultet zdravstvenih studija
Preddiplomski stručni studij Fizioterapija

Povjerenstvo za završne i diplomske radove

Predsjednik Povjerenstva



Pred. Helena Štrucelj, dipl. psiholog – prof.

Sadržaj	
POPIS KRATICA	4
SAŽETAK	5
ABSTRACT	6
UVOD	7
CILJEVI I HIPOTEZE	11
METODE	12
RAZRADA TEME	13
1. <i>Učinkovitost primjene robotike u rehabilitaciji gornjih ekstremiteta nakon moždanog udara</i>	13
1.1. <i>Pregled robotskih uređaja za rehabilitaciju gornjih ekstremiteta</i>	13
1.2. <i>Pregled istraživanja primjene robotike u rehabilitaciji gornjih ekstremiteta nakon moždanog udara</i>	18
2. <i>Učinkovitost primjene robotike u rehabilitaciji donjih ekstremiteta nakon moždanog udara</i>	27
2.1. <i>Pregled robotskih uređaja za rehabilitaciju gornjih ekstremiteta</i>	27
2.2. <i>Pregled istraživanja primjene robotike u rehabilitaciji gornjih ekstremiteta nakon moždanog udara</i>	31
3. <i>Prednosti i mane primjene robotike u rehabilitaciji</i>	37
3.1. <i>Prednosti</i>	37
3.2. <i>Nedostatci</i>	38
ZAKLJUČAK	39
PRIVITAK: POPIS ILUSTRACIJA	40
ŽIVOTOPIS	41
LITERATURA	42

POPIS KRATICA

ARAT – od eng. Action Research Arm Test

AFO – od eng. Ankle Foot Orthosis – ortoza za gležanj

BWSTT – (od eng. *Body-Weight Supported Treadmill*) - trening na pokretnoj traci uz potporu tjelesne mase

DE – donji ekstremitet

FMP - Fugl - Meyerova ljestvica procjene

GE- gornji ekstremitet

ICT - koordinirani gležanj-koljeno-kuk sustav za trening (od eng. *ankle-knee-hip Interlimb Coordinated robotic Training*).

KT – konvencionalna terapija

RAT – robot asistirana terapija

RAGT – (od eng. *Robot Assisted Gait Therapy*) - robotski asistirana terapija hoda

RHK - ReHapticKnob

RT – robotska terapija

PAAR - eng. *Power-Assisted Ankle* - PAAR

SAŽETAK

Moždani udar vodeći je uzrok tjelesne onesposobljenosti u Hrvatskoj i svijetu, a često vodi do motoričke disfunkcije, poteškoća s hodanjem i finom motorikom. Roboti za rehabilitaciju, kao suvremena tehnologija, razvijeni su kako bi pomogli u fizičkoj rehabilitaciji pacijenata nakon moždanog udara i drugih stanja. Ostale uloge uključuju ublažavanje fizičkih tereta terapeuta, povećanu pokretljivost udova, intenzitet vježbanja i povećanu produktivnost.

Cilj ovog preglednog rada jest utvrditi je li primjena robotike u rehabilitaciji osoba nakon moždanog udara učinkovita. Iz glavnog cilja proizlazi specifični cilj: prikazati prednosti i nedostatke primjene robotike u rehabilitaciji osoba nakon moždanog udara.

Literatura koja se koristila u ovom preglednom radu pretraživala se u PubMed Central i Hrčak bazi podataka. Kriteriji uključivanja su sva istraživanja u kojima su ispitanici osobe nakon moždanog udara u čijoj je rehabilitaciji primjenjena robotika. Literatura starija od 2008. godine nije uključena u rad.

Ograničenje rada jest nedovoljan broj istraživanja u kojima je ispitan veći broj ispitanika kako bi se došlo do što kvalitetnijeg zaključka o učinkovitosti primjene ovakve rehabilitacije.

Trenutačni broj dostupnih istraživanja nije dovoljan za konačni zaključak koji bi sa sigurnošću prihvatio ili odbacio suvremene tehnologije, ali uz kombiniranu primjenu manualne terapije, suvremena tehnologija, odnosno ovdje robotska rehabilitacija, može pridonijeti bržem oporavku funkcija te većoj kvaliteti pacijentova života.

Ključne riječi: robotika, rehabilitacija, moždani udar

ABSTRACT

Stroke is the leading cause of physical disability in Croatia and the world, and often leads to motor dysfunction, difficulties with walking and fine motor skills. Rehabilitation robots, as modern technology, have been developed to help in the physical rehabilitation of patients after stroke and other conditions. Other roles include alleviating the therapist's physical burden, increased limb mobility, exercise intensity, and increased productivity.

The aim of this review is to determine whether the application of robotics in the rehabilitation of people after a stroke is effective. A specific goal follows from the main goal: to show the advantages and disadvantages of using robotics in the rehabilitation of people after a stroke.

The literature used in this review was searched in the PubMed Central and Hrčak databases. The inclusion criteria are all research in which the subjects are people after a stroke whose rehabilitation involves robotics. Literature search excludes literature older than 2008.

The limitation of the work is the insufficient number of researches in which a large number of respondents were examined in order to reach the highest possible conclusion about the effectiveness of the application of this type of rehabilitation.

The current number of available studies is not sufficient for a definitive conclusion that can speak for or against modern technologies, but with the combined application of manual therapy, they can contribute to a faster recovery of function and a higher quality of life for the patient.

Key words: robotics, rehabilitation, stroke

UVOD

Premda postoje različiti nazivi i klasifikacija robotike u zdravstvu, prema Strateškoj agendi istraživanja za robotiku u Europi, zdravstvena skrb se (u vidu robotike) promatra kao kombinacija triju poddomena, a to su: klinička robotika, rehabilitacijska te pomoćna robotika. Klinička robotika uključuje sustave koji pomažu u dijagnozi i operacijama (1). Sama rehabilitacija, prema Svjetskoj zdravstvenoj organizaciji je definirana kao “skup intervencija osmišljenih za optimizaciju funkcioniranja i smanjenje invaliditeta kod osoba sa zdravstvenim stanjima u interakciji s njihovom okolinom” (2). Stoga, rehabilitacijska robotika pokriva postoperativnu skrb ili skrb nakon ozljede gdje će izravna fizička interakcija s robotskim sustavom ili poboljšati oporavak ili djelovati kao zamjena za izgublenu funkciju (1) te pomaganjem izvođenja pokreta, sudjelovati u rehabilitaciji ali i evaluaciji napretka bolesnika (3). Treća, pomoćna robotika uključuje druge aspekte robotike unutar procesa zdravstvene skrbi gdje je primarna funkcija robotskog sustava pružanje asistivne pomoći bilo njegovateljima ili izravno pacijentima bilo u bolnici ili u ustanovi za specijaliziranu skrb (3).

Robotski uređaji pružaju terapiju visokog intenziteta, ponavljajuću terapiju specifičnu za zadatak (4). Razlikujemo dvije vrste rehabilitacijskih robota: egzoskeletne robote te robote namijenjene za distalne dijelove ekstremiteta, odnosno takozvane krajnje efektore (od eng. *end – effector*) (1). Krajnji efektor nalazi se izvan tijela pacijenata i pruža potrebnu silu kraju ekstremiteta korisnika kako bi potpomogao ili dao otpor pokretu. Nakon pričvršćivanja, na primjer kod šake, robot podupire vrhove prstiju i palac, a pokreti savijanja i istezanja mogu se izvoditi prateći robot. Također, tu su i roboti koji rade po principu da je, primjerice, svaki prst pričvršćen na instrumentiranu kablsku petlju koja omogućuje kontrolu sile i pretežno linearni pomak (5). Krajnji efektor je serijski mehanizam, koji ima veći prostor za kretanje i više slobode (6). Za razliku od krajnjeg efektor, egzoskelet se može nositi na tijelu pacijenata. Zglob i karike robota izravno odgovaraju ljudskim zglobovima i udovima. Ova prenosivost egzoskeleta čini ga dobrim izborom za rehabilitaciju nakon moždanog udara, posebno za pacijente u kasnijoj fazi moždanog udara kada mogu sami trenirati kod kuće. Iako postoje problemi kao što su osi robota koje se moraju poravnati s anatomske osima određenog dijela tijela, egzoskeletni roboti naširoko se koriste u rehabilitacijskoj robotici i uvelike su razvijeni ovih godina (5). Egzoskeletni robot može točnije realizirati pomoćno kretanje, a krajnji robot za rehabilitaciju ima bolju izvedbu povratnih informacija i evaluacije. Egzoskelet ima paralelni opseg kretanja i prostor kao i ljudski zglobovi,

tako da može učinkovitije smanjiti inerciju i imati kompaktniju strukturu. Međutim, egzoskeleti sve više postaju glavna opcija u kliničkom liječenju u usporedbi s krajnjim efektorom (6).

Roboti za rehabilitaciju razvijeni su kako bi pomogli u fizičkoj rehabilitaciji pacijenata nakon moždanog udara, ozljeda leđne moždine i mozga, posebno za rješavanje raznih motoričkih i funkcionalnih oštećenja. Njihove druge uloge uključuju ublažavanje fizičkih tereta terapeuta, povećanu pokretljivost udova, intenzitet vježbanja i povećanu produktivnost. Nakon moždanog udara, na mozak se može utjecati intenzivnim senzomotoričkim treningom kroz neuroplastičnost koja djeluje u fazi subakutne do kronične faze oporavka (7).

Moždani udar vodeći je uzrok tjelesne onesposobljenosti u Hrvatskoj i svijetu, koji najčešće pogađa populaciju starije životne dobi, ali i osobe mlađe dobi (8). S porastom broja starijih osoba, moždani udar je postao česta bolest, koja često vodi do motoričke disfunkcije, poteškoća s hodanjem i finom motorikom (9). Fenotip stanja nakon moždanog udara temelji se na neurološkom deficitu koji se sastoji od složene interakcije kognitivnih i senzomotornih oštećenja, a koji ovisi o veličini i mjestu ozljede mozga (10,11).

Oporavak motorike nakon moždanog udara složen je, dinamičan i multifaktorski proces u kojem međudjelovanje genetskih, patofizioloških, sociodemografskih i terapijskih čimbenika određuje cjelokupnu putanju oporavka (12,13). Stoga strategije rehabilitacije koje imaju za cilj poboljšati ishode oporavka nakon moždanog udara zahtijevaju temeljito razumijevanje tih glavnih odrednica. Dvije glavne podvrste moždanog udara, hemoragijski (uzrokovan puknućem krvne žile i prodiranjem krvi u okolno tkivo i ishemijski (nastane zbog ugruška koji začepe arteriju i onemogućiti protok krvi kroz nju) moždani udar, rezultiraju različitim obrascima akutnog i kroničnog oporavka. Općenito, pacijenti s hemoragičnim moždanim udarom imaju tendenciju većeg funkcionalnog oštećenja pri prezentaciji. Međutim, bolesnici s hemoragijskim moždanim udarom imaju tendenciju izraženijeg i bržeg oporavka od onih s ishemijskim moždanim udarom usporedive težine (14).

Motoričko oštećenje bolesnika s moždanim udarom varira od osobe do osobe. Čimbenike kao što su vrste stanja mišića (npr. atonija ili hipermiotonija), faza moždanog udara (kronični, akutni ili subakutni) i razine moždanog udara (od blagog do teškog moždanog udara) treba uzeti u obzir za individualizirano liječenje. Na primjer, pacijenti s atonijom ne mogu koristiti pomoćne robote koji

zahtijevaju preostalu sposobnost kretanja ili previše setova treninga snage koji mogu uzrokovati abnormalne modalitete kretanja (5).

Rehabilitacija nakon moždanog udara potpomognuta robotom za gornji ekstremitet javlja se već 1990-ih godina. Uvelike je razvijena tijekom posljednjih desetljeća s napretkom robotske tehnologije. Bila je značajna dopuna tradicionalnoj fizikalnoj terapiji (5). Što se tiče opće pozadine rehabilitacije nakon moždanog udara, hemiplegija gornjih ekstremiteta (GE) jedno je od stanja koje se najčešće susreće kod osoba koje su primljene u bolnicu i pogađa dvije trećine ove populacije. Hemiplegija GE uzrokuje funkcionalno oštećenje ruke i šake, što negativno utječe na dnevne aktivnosti osoba koje su preživjele moždani udar (15). U radnom stanju, robot pokreće pokrete gornjih udova povezujući se s pacijentovom rukom kako bi postigao rehabilitacijski trening. Sustav robota je relativno neovisan o pacijentu, koji se spaja samo na kraj robota (6). Konvencionalna terapija općenito uključuje interakciju „jedan na jedan” s terapeutom koji pomaže i ohrabruje pacijenta kroz ponavljajuće vježbe. Ponavljajuća priroda terapije čini je podložnom provođenju pravilno dizajniranim robotima. Rehabilitacija robotom može djelovati kao moderan, učinkovit i nov alat koji pruža ponovljivo iskustvo motoričkog učenja, kvantitativno prati i prilagođava se napretku pacijenata te osigurava dosljednost u planiranju terapijskog programa (16). Dizajn rehabilitacijske tehnologije obično ne prate potpuna klinička ispitivanja; stoga takav razvoj ne nalazi izravnu primjenjivost u medicinskim ili rehabilitacijskim centrima (15).

S druge strane, senzomotoričko oštećenje donjih ekstremiteta se također često viđa kod ljudi nakon moždanog udara (17). Vraćanje sposobnosti hoda jedan je od najčešće prijavljenih ciljeva rehabilitacije nakon moždanog udara. Osim osnovne samostalnosti hoda i sposobnosti prilagodbe hoda zahtjevima okoline, rehabilitacija je često usmjerena na optimizaciju individualnog obrasca hoda, osobito u ranoj fazi nakon moždanog udara (18).

Osobe koje su preživjele moždani udar obično imaju smanjenu ekscurziju zglobova, nedovoljnu propulziju prema naprijed i hiperaktivne refleksne reakcije, što dovodi do sporog, asimetričnog i nestabilnog obrasca hoda. Osim toga, osobe koje su preživjele moždani udar imaju tendenciju koristiti neučinkovite kompenzacijske strategije za nedostatke u hodu, kao što je cirkumdukcija nogu ili abnormalno podizanje zdjelice kako bi se kompenzirao nedovoljan razmak stopala tijekom zamaha. Sveukupno, ti promijenjeni obrasci hodanja dovode do velike potrošnje energije i mogu

dodatno smanjiti njihovo društveno sudjelovanje i neovisnost u aktivnostima svakodnevnog života (17).

S obzirom na prethodno napisanu činjenicu o moždanom udaru kao vodećem uzroku tjelesne onesposobljenosti u svijetu, od velike je važnosti, pregledom literature, uvidjeti i približiti se napretku tehnologije koji pruža nove načine rehabilitacije osoba nakon moždanog udara te tako biti suvremeni u rehabilitaciji. Također, pregledom različitih istraživanja će se ustanoviti učinkovitost primjene robotike u rehabilitaciji osoba nakon moždanog udara te pokazati prednosti i mane relativno novih tehnologija što je od velike važnosti za sve zdravstvene djelatnike koji sudjeluju u rehabilitaciji bolesnika. Stoga je cilj ovog rada pregledati dostupna i kvalitetna istraživanja te na temelju istih istraživanja ustanoviti učinkovitost primjene robotike u rehabilitaciji osoba nakon moždanog udara.

S obzirom na to da bzirom da su posljedice moždanog udara za svakoga drugačije, rad je podijeljen na 2 dijela, odnosno prema zahvaćenom ekstremitetu tijela.

U prvom dijelu rada prikazana je učinkovitost primjenae robotike u rehabilitaciji gornjih ekstremiteta (GE) nakon moždanog udara. Taj dio rada je uže pojašnjen pregledom robotskih uređaja za rehabilitaciju GE nakon moždanog udara, zatim i pregledom istraživanja čijim se zaključkom utvrđuje učinkovitost primjene robotike u istoj rehabilitaciji.

Drugi dio rada temeljen je po istom principu s razlikom u tome što se prikazuje učinkovitost primjene robotike u rehabilitaciji donjih ekstremiteta (DE) nakon moždanog udara. Na isti način je drugi dio rada približen uz pregled robotskih uređaja koji se koriste, potom uz pregled istraživanja čijim se zaključkom utvrđuje učinkovitost takve rehabilitacije.

U zadnjem dijelu razrade navedene su prednosti i nedostaci primjene robotike u rehabilitaciji osoba nakon moždanog udara.

Na samom kraju, u zaključku se objedinio prikaz glavnih spoznaja do kojih se došlo pregledanom literaturom.

CILJEVI I HIPOTEZE

Ciljevi:

Cilj ovog preglednog rada jest utvrditi je li primjena robotike u rehabilitaciji osoba nakon moždanog udara učinkovita. Iz glavnog cilja proizlazi specifični cilj: prikazati prednosti i nedostatke primjene robotike u rehabilitaciji osoba nakon moždanog udara.

Hipoteze:

Primjena robotike u rehabilitaciji osoba nakon moždanog udara je učinkovita. Prednosti primjene robotike u rehabilitaciji osoba nakon moždanog udara su brojnije od nedostataka primjene robotike u rehabilitaciji osoba nakon moždanog udara.

METODE

Literatura koja se koristila u ovom preglednom radu pretraživala se u PubMed Central i Hrčak bazi podataka. Ključne riječi pri pretraživanju bile su: robotika, moždani udar i rehabilitacija.

U radu su uključena sva istraživanja u kojima su ispitanici osobe nakon moždanog udara u čijoj se rehabilitaciji primjenjivala robotika. Isključena su istraživanja u kojima su sudjelovale osobe nakon moždanog udara, u čijoj rehabilitaciji nije uključena robotika, kao i istraživanja u kojima su sudjelovale osobe koje nisu imale moždani udar.

Vremenska odrednica isključuje literaturu stariju od 2008. godine.

U radu su se koristili istraživački radovi, pregledni radovi te internetske stranice (pregledni radovi i internetske stranice u vidu pojašnjenja određenih pojmova i sl.). U analizu je uključeno 16 istraživačkih radova (8 istraživanja rehabilitacije gornjih ekstremiteta, 8 istraživanja rehabilitacije donjih ekstremiteta) koji se dotiču odabrane teme ovog preglednog rada Učinkovitost primjene robotike u rehabilitaciji osoba nakon moždanog udara. Tako je u analizu uključeno 1120 ispitanika u 16 istraživanja. Na temelju zaključaka pregledanih istraživačkih radova došlo se do zaključka ovog preglednog rada.

RAZRADA TEME

1. Učinkovitost primjene robotike u rehabilitaciji gornjih ekstremiteta nakon moždanog udara

1.1. Pregled robotskih uređaja za rehabilitaciju gornjih ekstremiteta

1.1.1. H-Man

H-Man (Slika 1.) je karakteriziran mehaničkim dizajnom temeljenim na kabelskom diferencijalnom prijenosu koji pruža prednosti u odnosu na trenutnu robotsku tehnologiju. Prijenos H-Man znači krajnje pojednostavljenu kinematiku i homogena dinamička svojstva, nudeći mogućnost generiranja haptičkih kanala pasivnim blokiranjem mehanike i eliminirajući probleme vezane uz stabilnost (18). Mehanički dizajn H-Mana pruža mogućnost brzog stvaranja haptičkih kanala pomoću mehaničkih čepova (na jednom od motora). H-Man je uređaj za proučavanje motoričke kontrole i robotsku rehabilitaciju. Hardver je dizajniran s posebnim naglaskom na mehaniku koja rezultira sustavom koji je jednostavan za upravljanje, homogen je i koji je intrinzično siguran za upotrebu (19).



Slika 1. H-Man

Izvor: <https://www.eurekaalert.org/multimedia/632736>

1.1.2. Mit-Manus

Robotski sustav teretane MIT-Manus (Slika 2.) sastoji se od tri komponente: rame-lakat (InMotionARM robot), ručni zglob (InMotionWRIST robot) i dodatak za ruku (InMotionHAND robot) (20). Komponente rame-lakat i ručni zglob samostalne su jedinice robota, dok je ručna komponenta dodatak koji pristaje na jedinicu rame-lakat (21).



Slika 2. In Motion arm/hand robot

Izvor: <https://www.bioniklabs.com/products/inmotion-arm-hand>

1.1.3. Armeo Spring

Ergonomski i podesivi egzoskelet *ArmeoSpringa* (Slika 3.) obuhvaća cijelu ruku, od ramena do šake, i uravnotežuje težinu pacijentove ruke. Ugrađeni senzori bilježe aktivne pokrete i sve kutove zglobova tijekom terapije. Glavni element uređaja je ortoza (egzoskelet) koja ima sustav opruga koje podupiru vježbani gornji ekstremitet. Dizajn uređaja omogućuje prilagodbu ortoze pacijentu. Prilagodljivost uređaja pacijentu osiguravaju električno podesivi stup u rasponu od 400 mm, duljina podlaktice u rasponu od 290-390 mm, duljina ruke u rasponu od 220-310 mm, maksimalna težina podlaktice od 0,7 kg do 2,4 kg, maksimalna težina ruke od 0,5 kg do 3,8 kg. *Armeo Spring* ima 6 stupnjeva slobode - svaki s neovisnim motorom i dva senzora (22).



Slika 3. Armeo Spring

Izvor: <https://www.hocoma.com/solutions/armeio-spring/>

1.1.4. L-Exos

L-Exos (Slika 4.) je aktivni robotski egzoskelet, koji može pružiti ili aktivno vođenje tijekom izvođenja neke vježbe ili gravitacijsku podršku za ruku s utezima. Egzoskelet ima četiri aktivirana stupnja slobode s antropomorfnom kinematikom, tako da se može pružiti aktivna pomoć za abdukciju/adukciju ramena, fleksiju-ekstenziju, unutarnju/vanjsku rotaciju i za ekstenziju/fleksiju lakta, te jedan pasivni pokret, koja odgovara prono-supinacija zgloba (23).



Slika 4. *L-Exos*

Izvor: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3443436/>

1.1.5. *ReHaptic Knob*

Poboljšana verzija *HapticKnoba*, *ReHapticKnob* (Slika 5.) omogućuje uvježbavanje istih funkcija šake/ruke kao i *Haptic Knob*, ali nudi brojna poboljšanja u smislu svoje taktilne izvedbe i mogućnosti procjene. *ReHaptic Knob* terapijska platforma (tj. haptički uređaj za treniranje funkcije ruke i podlaktice, korisničko sučelje usmjereno na pacijenta i niz terapijskih vježbi i procjena) nedavno je redizajnirana kako bi se mogla koristiti uz minimalan nadzor terapeuta s ciljem da potencijalno omogući povećanje doze terapije uz konvencionalne terapije (24).



Slika 5. ReHaptic Knob

Izvor: <https://relab.ethz.ch/research/current-research-projects/robot-assisted-rehabilitation-and-assessment-of-hand-function.html>

1.1.6. Kinarm Exoskeleton

Kinarm Exoskeleton (Slika 6.) koristi složenu vezu kako bi omogućio pokrete ruke u vodoravnoj ravnini uključujući pokrete fleksije i ekstenzije u zglobovima ramena i lakta. Momentni motori bilježe kretanje ruke u vodoravnoj ravnini i primjenjuju opterećenja na svaki zglob neovisno. Dizajn pruža povratnu informaciju od zglobova ramena i lakta i kontrolu nad njima, čime se dopušta primjena opterećenja na zglobove ramena i/ili lakta (ili opterećenja temeljena na rukama). Bilježe se uzorci pokreta zglobova; mišićne momente izračunava sustav. Svaki Kinarm robot može se koristiti kao egzoskelet za rame i lakat (ostavljajući ruku slobodnom za interakciju s objektima u okolini) ili se može pretvoriti u krajnjeg robota s otvorenom ručkom na bazi ruke (25, 26).



Slika 6. Kinarm

Izvor: <https://kinarm.com/kinarm-products/kinarm-classic/>

1.1.7. ReoGO

Ova prijenosna platforma, ReoGO (Slika 7.), laka za korištenje olakšava dvodimenzionalne ili trodimenzionalne pokrete, omogućujući pacijentima koji su pretrpjeli moždani udar ili druge neurološke ozljede da u osnovi ponovno uvježbaju mozak kroz izmjerene ponavljajuće pokrete i napredni biofeedback.

Sastoji se od potpuno motorizirane i ergonomске robotske ruke, zajedno s naprednim softverom koji kombinira personalizirane vježbe specifične za pacijenta i zanimljive igre koje su osmislili vodeći terapeuti..

U osnovi modaliteta liječenja je kliničko načelo da pažljivo osmišljen, ponavljajući i vođeni neuromuskularni trening služi poboljšanju učenja i promicanju kortikalne reorganizacije, što zauzvrat pridonosi funkcionalnom oporavku. Kao uređaj potpomognut robotom, ReoGo pruža do deset puta više ponavljanja po treningu od prosječnog nerobotskog tretmana, čime se poboljšava oporavak i rezultati liječenja (21).



Slika 7. ReoGO

Izvor: <https://samcon.be/Rehabilitation/Robotics/ReoGo>

1.2. Pregled istraživanja primjene robotike u rehabilitaciji gornjih ekstremiteta nakon moždanog udara

1.2.1. Primjena H-Man robota u rehabilitaciji

Funkcija šake često je oštećena nakon moždanog udara, što snažno utječe na sposobnost obavljanja svakodnevnih aktivnosti (27). Robotski uređaji za gornje ekstremitete razvijeni su kao nadopuna rehabilitacijskoj terapiji koja se nudi osobama koje su pretrpjele moždani udar, ali se rijetko fokusiraju na treniranje senzomotoričke funkcije ruku. Rehabilitacija gornjih udova nakon moždanog udara je izazovan problem s lošim ishodima jer 40% preživjelih ima funkcionalno beskorisne GE.. Terapija potpomognuta robotom (od engl. Robot-assisted Therapy – RAT) potencijalna je metoda za ublažavanje napora intenzivnih, specifičnih zadataka, ponavljajućih vježbi za gornje udove i za pacijente i za terapeute.

Studija Budhote A i sur. imala je za cilj istražiti kako se vremenski usklađena kombinirana shema terapije koja uključuje konvencionalnu i RAT, koristeći *H-Man*, uspoređuje s konvencionalnom terapijom prema smanjenju zahtjeva radne snage. U randomiziranom kontrolnom ispitivanju kroz 24 tjedna, 44 osobe koje su preživjele subakutni do kronični moždani udar s prvim kliničkim moždanim udarom i prevladavajućim nedostatkom motoričke funkcije ruke randomizirane su u dvije skupine od 22 ispitanika: robotska terapija (RT) i konvencionalna terapija (KT). Obje grupe su imale 18 terapija od 90 minuta; tri puta tjedno tijekom 6 tjedana. U svakom treningu sudionici KT grupe primili su 90 minuta konvencionalne terapije pod nadzorom terapeuta, dok su sudionici RT grupe prošli kombiniranu terapiju koja se sastojala od 60 minuta minimalno nadzirane *H-Man* terapije nakon koje je slijedilo 30 minuta konvencionalne terapije. Ova studija ima ograničavajuće čimbenike: srednja dob ispitivane populacije od 44 ispitanika bila je 55,5 godina, što je mlađe od globalne dobi za moždani udar koja iznosi oko 60 godina. Također, globalne mjere aktivnosti svakodnevnog života, funkcionalne ovisnosti i kvalitete života nisu proučavane.

Sudionici koji su bili podvrgnuti ovom kombiniranom treningu pokazali su usporediva poboljšanja u motoričkoj funkciji i bolje performanse u glatkoći pokreta u usporedbi sa sudionicima koji su bili podvrgnuti samo konvencionalnoj terapiji u istom trajanju. Motorna i funkcionalna poboljšanja također su zadržana nakon terapije.

Ovo promiče korištenje sadašnjeg programa robotske terapije tijekom 18 tjedana kako bi se poboljšao motorički oporavak nakon moždanog udara i smanjilo opterećenje terapeuta što može dovesti do smanjenog ljudskog napora i povećane produktivnosti.

Značajne razlike unutar grupe primijećene su na kraju treninga za sve kliničke ljestvice u usporedbi s početnom vrijednošću *Fugl – Meyerove* ljestvice procjene - FMP dobici su zadržani 18 tjedana nakon treninga. Klinički rezultati RT skupine poboljšali su se na sličan način u usporedbi s KT grupom iako je vrijeme konvencionalne terapije smanjeno na jednu trećinu u RT skupini. Nije bilo nuspojava povezanih s treningom. Dakle, vremenski usklađeni kombinirani trening koji uključuje *H-Man RAT* pokazao je slične rezultate u usporedbi sa samom konvencionalnom terapijom. Stoga ova studija podupire kombinirani pristup poboljšanju motoričke funkcije kod pareze ruke nakon moždanog udara (26).

1.2.1. Primjena Mit – Manus robota u rehabilitaciji

U randomiziranom kontrolnom ispitivanju Rodgersa i sur. uspoređivala se klinička učinkovitost treninga potpomognutog robotom korištenjem robotske teretane *MIT-Manus* s programom poboljšane terapije gornjih ekstremiteta (GE) koji se temelji na vježbanju ponavljajućih funkcionalnih zadataka i uz uobičajenu njegu. Ciljana veličina uzorka bila je 762 sudionika (254 sudionika po skupini). Istraživanje se provelo u četiri britanska centra. Pacijenti s moždanim udarom u dobi od najmanje 18 godina s umjerenim ili teškim funkcionalnim ograničenjem gornjih udova, između jednog tjedna i 5 godina nakon prvog moždanog udara, nasumično su raspoređeni za trening uz pomoć robota, program poboljšane terapije gornjih udova ili uobičajenu njegu. Održan je trening uz pomoć robota i program poboljšane terapije gornjih ekstremiteta u trajanju od 45 minuta, tri puta tjedno tijekom 12 tjedana. Primarni ishod bio je uspjeh funkcije gornjih udova (definiran korištenjem *Action Research Arm Test [ARAT]*) nakon 3 mjeseca.

U usporedbi s uobičajenom njegom, trening uz pomoć robota nije poboljšao funkciju GE. Učinci treninga uz pomoć robota nisu se razlikovali od programa poboljšane terapije GE.

Trening potpomognut robotom i program poboljšane terapije GE nisu poboljšali funkciju gornjih udova nakon moždanog udara u usporedbi s uobičajenom skrbi za pacijente s umjerenim ili teškim funkcionalnim ograničenjem gornjih udova te ovi rezultati ne podupiru korištenje robotski potpomognute terapije kao što je navedeno u ovom ispitivanju u rutinskoj kliničkoj praksi.

Trening uz pomoć robota doveo je do poboljšanja u oštećenju gornjih udova (FMP motorička subskala) u usporedbi s uobičajenom njegom, ali ne i do poboljšanja u funkciji gornjih udova ili u aktivnostima svakodnevnog života (27).

1.2.3. Primjena Armeo Spring robota u rehabilitaciji

Cilj rada Schnurrer-Luke-Vrbanić i sur. bio je dokazati učinkovitost primjene egzoskeletnog robota u rehabilitaciji hemiparetične ruke u subakutnoj fazi rehabilitacije.

U istraživanju je uključeno 20 bolesnika u subakutnoj fazi rehabilitacije moždanog udara prosječne dobi od 60.9 godina. Desnostranu hemiparezu imalo je 11 bolesnika, a lijevostranu 9. Nije bilo kognitivnog oštećenja u bolesnika (mjereno *Mini Mental Testom*). Bolesnici su bili uključeni u rehabilitacijski protokol (koji se sastojao od vježbi Bobath koncepta te robotski asistiranih vježbi za ruku), u trajanju od 20 treninga, 5 dana u tjednu, tijekom 4 tjedna. Bobath koncept provodio je Bobath terapeut, robotom asistirana vježba ruke izvođena je preko komercijalno dizajniranog egzoskeletnog robota (*ArmeoSpring, Hokoma, Zurich, Švicarska*). Učinkovitost rehabilitacije je praćena mjernim indeksima funkcijski indeks onesposobljenosti te skala motoričke procjene (*SMP*). Praćena je vrijednosti motoričke procjene za ruku (*SMP– ruka*), te ukupnu vrijednost motoričke procjene po bolesniku (*SMP ukupni*).

Mjerni indeksi učinjeni su po protokolu prije i poslije rehabilitacijskog programa, te je u svim indeksima (mjera funkcionalne neovisnosti, *SMP-ruka*, *SMP – ukupni*) rezultati pokazuju statistički značajan motorički oporavak hemiparetične ruke poboljšanje sa statističkom značajnošću od $p < 0.001$.

Nedostaci istraživanja su mali broj bolesnika uključen u istraživanje, nepostojanje kontrolne skupine, ali i izbor mjernih indeksa (nedostajanje indeksa koji bi obuhvatili ne samo tjelesne funkcije i aktivnosti, već i sudjelovanje u aktivnostima svakodnevnog života i kvalitetu života sudionika ovog istraživanja (28).

Studija Adomavičienė A i sur. u randomiziranom prospektivnom kliničkom ispitivanju usporedili su učinak Armeo Spring robota i Kinect sustava. Prema kriterijima uključivanja i malom broju pacijenata koji su bili na rehabilitaciji nakon moždanog udara u stacionaru, bilo je obuhvaćeno ukupno 60 bolesnika nakon moždanog udara, odnosno 30 bolesnika u svakoj skupini. Neki od pacijenata nisu završili istraživanje zbog pogoršanja zdravstvenog stanja. Ukupno 42 pacijenta su završila studiju, a njihovi rezultati su analizirani.

Pacijenti su nasumično raspoređeni ili na tretman koji se temelji na kombinaciji konvencionalnog rehabilitacijskog programa s Armeo Spring treningom uz pomoć robota ($n = 17$) i s virtualnom

stvarnošću temeljenom na Kinectu (n = 25) za mjerenje i usporedbu učinka i vrijednosti tretmana u odnosu na različite tehnologije.

Konvencionalni program rehabilitacije nakon moždanog udara trajao je 4-3 h dnevno, 5 dana tjedno (fizikalna terapija, radna terapija, neuropsihološki treninzi, logopedska terapija itd.), a trajanje treninga s novim tehnološkim uređajima (Kinect ili Armeo robot) iznosio je 45 min/dan (ukupno 10 treninga). Svi treninzi sastojali su se od niza motoričkih zadataka nakon kojih je slijedila kratka faza odmora. Pacijenti su zamoljeni da obavljaju veliki izbor zadataka i programa vježbi odabranih pojedinačno za svakog pacijenta. Svi pacijenti su završili 45 minuta dnevno za ukupno 10 intenzivnih terapijskih sesija. Treninge je nadgledao radni terapeut koji je modificirao program vježbanja prema napretku svakog pacijenta.

Ovo je istraživanje uključilo 42 bolesnika (srednja dob 64,6 godina) s hemiparezom kao posljedica ishemijskog (n = 29) ili hemoragičnog moždanog udara (n = 13), koji su uzastopno sudjelovali u specijaliziranoj jedinici za rehabilitaciju nakon moždanog udara. U obje skupine dominirali su muški sudionici i zahvaćena desna šaka.

Nije utvrđen bitno drugačiji učinak novih tehnologija za oporavak motoričke sposobnosti GE. Prema rezultatima Fugl–Meyerove procjene gornjih udova, može se utvrditi da rezultat pokretljivosti hemiparetičke ruke, uključujući reflekse, pojavu sinergije i svaki od izoliranih pokreta gornjeg uda, uključujući i hvat, je poboljšan u obje skupine. Međutim, mišićni tonus fleksije u laktu i zapešću bio je više povećan u Kinect grupi što bi moglo ograničiti spretnost ruke; stoga su rezultati ponavljajućih pokreta tijekom 60 s (test tapkanja) i *box i block score* zahvaćene ruke više porasli nakon robotskih treninga. Snaga stiska šake znatno se više oporavila u Armeo grupi, zbog vidljivo nižeg mišićnog tonusa u zglobu i laktu koji je pacijentima omogućio lakše izvođenje ovih radnji.

Rezultati studije su potvrdili činjenicu da robotski uređaji mogu poboljšati funkcije GE pomicanjem pasivnih udova duž sigurnijih putanja kretanja i pružanjem ili pomoći ili otpora kretanju jednog zgloba ili kontrole međusegmentalne koordinacije. Nedavni tehnološki napredak u treningu robota ima sposobnost točne kontrole višestrukih zglobova i ima pozitivan učinak na oporavak GE. Osim toga, poboljšani rotacijski opseg pokreta ramena primijećeni su u skupini Kinect. To se može pripisati činjenici da *Kinect* igre uključuju više rotacije nego što *Armeo Spring* robot dopušta. Nadalje, robotski uređaj *Armeo Spring* pruža zahvaćenom GE potporu za težinu i

pruža priliku za izvođenje najpreciznijih zadataka tijekom treninga, dok Kinect ne pruža potporu za težinu, a pokreti zahvaćene ruke su manje precizni i širi.

Unatoč pozitivnom utjecaju novih tehnologija, pri tumačenju rezultata moraju se uzeti u obzir neka ograničenja studije. 42 sudionika može se smatrati malim brojem, iako je usporediv s prethodnim sličnim intervencijama. Štoviše, studija je provedena nedugo nakon što se moždani udar dogodio, a trening je izveden samo u malom broju (10 treninga, 45 min/dan). Primijećeno je da je trajanje treninga s novim tehnologijama od 60 minuta bilo predugo za pacijente: nakon 30 minuta su postajali umorni, teško su mogli okupiti pažnju, pravili su duge pauze i nisu pravilno izvršavali zadatak. S obzirom na ove pokazatelje, optimalno trajanje treninga koje preporučujemo je 30 min. Obzirom na to, učinkoviti rezultati u rehabilitaciji nakon moždanog udara s novim tehnologijama ovise o trajanju i intenzitetu treninga, kao i raspodjeli pacijenata prema spolu, različitoj zahvaćenoj ruci (R/L) i vrsti moždanog udara (ishemijski/hemoragijski) s različitim krivuljama oporavka i psihoemocionalnim stanjem.

Potvrđena je hipoteza da su treninzi s novim tehnologijama pokazali značajno poboljšanu funkcionalnu razinu pacijenata nakon moždanog udara. Međutim, učinci treninga na oporavak motoričkih funkcija gornjih udova pokazuju da Armeo robotski potpomognuti uređaji imaju iste mogućnosti praćenja kao i sustav temeljen na Kinectu, dok su individualno modificirani za svakog pacijenta i precizno nadilaze ograničenja. Stoga je potrebno dublje istražiti potencijalnu učinkovitost Kinect i Armeo terapije u rehabilitaciji osoba koje su preživjele moždani udar (29).

1.2.4. Primjena L-Exos robota u rehabilitaciji

Randomizirano kliničko ispitivanje Frisoli A i sur. paralelnih skupina unutar skupine od 26 kroničnih bolesnika nakon moždanog udara. Pacijenti su nasumično raspoređeni u dvije skupine koje su primale robotsku ili terapiju za ruku. Studija se temeljila na randomiziranom ispitivanju paralelnih skupina. Pacijenti su jednostavnom randomizacijom raspoređeni u dvije različite intervencijske skupine: manualnu fizikalnu terapiju (kontrolna skupina) i robotski potpomognutu terapiju (robotska skupina). Robotska terapija provodila se pomoću robotskog egzoskeleta L-EXOS u kombinaciji s posebno dizajniranim vježbama rehabilitacije virtualne stvarnosti. Kako bi se minimizirali zbunjujući učinci spontanog oporavka samo su kronični bolesnici bili uključeni u studiju. 26 pacijenata s unilateralnim hemiparetičnim kroničnim moždanim udarom u dobi između 30 i 80 godina je odabrano, ali samo 22 su završila liječenje (u dobi od $65,8 \pm 11,3$ godine, 7 žena

i 15 muškaraca). Svi uključeni pacijenti bili su dešnjaci i imali su ishemijski ili hemoragijski moždani udar lijeve strane najmanje 7 mjeseci prije početka eksperimenta. Primarni ishod bila je promjena rezultata na dijelu gornjih ekstremiteta *Fugl-Meyerove* ljestvice procjene (FMP). Kao sekundarni ishod korištena je posebno dizajnirana bimanualna funkcionalna ljestvica (od eng. *Bimanual Activity Test*), za funkcionalnu procjenu gornjih ekstremiteta. Izdvojena su dva indeksa učinkovitosti robota u svrhu praćenja procesa oporavka i istraživanja međuodnosa između robotskih biomarkera prije tretmana i kliničkog poboljšanja nakon tretmana u grupi robota. Zabilježena su značajna klinička i funkcionalna poboljšanja u obje skupine ($p < 0,01$). Značajno veće poboljšanje robotske skupine primijećeno je u proksimalnom dijelu FMP i u smanjenju vremena potrebnog za izvršavanje zadataka bimanualne funkcionalne ljestvice. Robotski tretman gornjih udova temeljen na egzoskeletu mogao bi dovesti do boljih funkcionalnih ishoda u usporedbi s manualnom fizikalnom terapijom (23).

1.2.5. Primjena ReHaptic Knob robota u rehabilitaciji

Primarni cilj studije Ranzani R i sur. bio je procijeniti proizvodi li robotski potpomognuta terapija funkcije šake koja slijedi neurokognitivni pristup (tj. kombiniranje motoričkog treninga sa somatosenzornim i kognitivnim zadacima) jednako smanjenje motoričkog oštećenja gornjih udova u usporedbi s konvencionalnom neurokognitivnom terapijom usklađenom s dozom, kada je ugrađen u program rehabilitacije ležećih bolesnika u subakutnom stadiju nakon moždanog udara. Provedeno je randomizirano kontrolirano ispitivanje s paralelnim skupinama na subjektima sa subakutnim moždanim udarom koji su primali ili konvencionalnu ili robotski potpomognutu neurokognitivnu manualnu terapiju pomoću *ReHapticKnob*, haptičkog uređaja. Terapija je pružena u 15 treninga od 45 minuta tijekom četiri tjedna. Primarni ishod bila je promjena u odnosu na početnu vrijednost u dijelu FMP za gornje ekstremitete nakon intervencije, koja je uspoređena između skupina korištenjem testa ekvivalentnosti. Sekundarne mjere ishoda uključivale su motoričke, senzorne i kognitivne procjene gornjih udova, isporučenu dozu terapije, kao i upitnike. Ispitivanje je završilo 14 ispitanika u skupini uz pomoć robota i 13 ispitanika u skupini s konvencionalnom terapijom. Na kraju intervencije, 8. i 32. tjedna, utvrđeno je da je motorički oporavak kod robotom-potpomognute skupine nije inferiorna u odnosu na kontrolnu skupinu.

Neurokognitivna robotski potpomognuta terapija funkcije ruke omogućuje neinferioran motorički oporavak u usporedbi s konvencionalnom neurokognitivnom terapijom usklađenom s dozom kada

se provodi tijekom bolničke rehabilitacije u subakutnom stadiju (31). To omogućuje rano upoznavanje ispitanika s moždanim udarom s korištenjem takvih tehnologija, kao prvi korak prema minimalnom nadzoru terapeuta u klinici ili izravno kod kuće nakon otpusta iz bolnice, kako bi se povećala doza manualne terapije za osobe s moždanim udarom (30).

Sudionici uključeni u obje skupine uglavnom su imali blaga ili umjerena oštećenja (početna FMP > 29). Nikakva mjera korištenja gornjih udova u stvarnom svijetu nije bila uključena u dizajn studije. Dok se program terapije uz pomoć robota mogao dobro integrirati u program subakutne rehabilitacije kao nadopuna postojećoj terapiji, samo su pacijenti s blagim do umjerenim kognitivnim oštećenjem mogli sudjelovati, budući da je program intenzivne terapije predstavljao izazov kognitivnim sposobnostima nekih pacijenata. To nije omogućilo provjeru do koje se razine kognitivnog oštećenja može primijeniti predloženi pristup, a uključeni pacijenti imali su samo malo prostora za kognitivni oporavak. Kao dodatna moguća zabuna, svi su sudionici primili dodatne konvencionalne terapijske treninge kao dio svog standardnog bolničkog terapijskog programa paralelno s intervencijom, što se nije moglo u potpunosti zamijeniti za etička pitanja. Nadalje, rezultati ove studije ograničeni su prilično malom veličinom uzorka i treba ih tumačiti s obzirom na pruženu terapiju i razinu doze. Konačno, kao što je slučaj s bilo kojim kliničkim ispitivanjem u subakutnom stadiju nakon moždanog udara i usporedive veličine uzorka, doprinos spontanog oporavka ne može se odvojiti od oporavka izazvanog intervencijom (31).

1.2.6. Primjena Kinarm robota u rehabilitaciji

Samo mali broj studija ispitivao je robotsku terapiju u prvih nekoliko tjedana nakon moždanog udara. U ovoj su se studiji dizajnirali zadaci robotske terapije gornjih ekstremiteta testirali ih na osobama sa subakutnim moždanim udarom. Kriteriji za uključivanje bili su: dob veća od 18 godina, prvi moždani udar (ishemijski ili hemoragijski), slabost ili gubitak osjeta, sposobnost praćenja naredbi u dva koraka. Kriteriji za isključenje bili su: povijest drugih neuroloških bolesti (npr. multipla skleroza, Parkinsonova bolest), ortopedski problemi koji ograničavaju gornje ekstremitete i drugo.

Pilot testiranje Keeling AB i sur. bilo je uglavnom usmjereno na izvedivost provedbe ovih novih zadataka, odnosno 9 robotskih terapijskih zadataka za uključivanje povratnih informacija, intenziteta, izazova i angažmana subjekta, kao i za rješavanje unimanuelnih i bimanuelnih aktivnosti ruku. Sudionici sa subakutnim moždanim udarom raspoređeni su u robotsku terapiju

(N=9) ili kontrolnu skupinu (N=10). Grupa robotske terapije završila je 1 sat robotske terapije dnevno tijekom 10 dana uz standardnu terapiju. Kontrolna skupina sudjelovala je samo u standardnoj terapiji skrbi. Prije i nakon intervencije izvršene su kliničke i robotske procjene. Kliničke procjene uključivale su FM procjenu gornjih ekstremiteta, *Action Research Arm Test* (ARAT) i mjeru funkcionalne neovisnosti. Robotske procjene senzomotoričke funkcije gornjih udova uključivale su, između ostalog, zadatak vizualno vođenog dohvata i zadatak usklađivanja položaja ruke. Na temelju početnih kliničkih procjena se odredila prvotna razina za početak treninga, a zatim su se prilagođavale razine na temelju izvedbe robotskih zadataka. Ključni cilj bio je održati vrijeme provedeno na svakom zadatku istim tijekom dana (oko 6-7 minuta po zadatku).

Rezultati istraživanja: sudionici sa subakutnim moždanim udarom (39,8 dana nakon moždanog udara) završili su pilot studiju te se tijekom intervencije dogodio minimalan broj nuspojava. Klinički i robotski rezultati nisu se značajno razlikovali između skupina na početku (32).

Zadaci terapije *Kinarmom* imaju potencijal za poboljšanje ishoda kod subakutnog moždanog udara. Buduće studije su potrebne kako bi se kvantificirale prednosti ove robotske terapije u većoj kohorti.

1.2.7 Primjena ReoGO robota

Istraživanje Takebayashi T i sur. je imalo za cilj eksplorativno istražiti utjecaj razine robotske pomoći i načina prilagodbe na funkcionalno poboljšanje u gornjih ekstremiteta koji su zahvaćeni moždanim udarom. U istraživanju je sudjelovalo 30 osoba koje su preživjele subakutni moždani udar s blagom do teškom hemiplegijom. Pacijenti su podijeljeni u dvije skupine: visoku i nisku robotsku pomoć.

Za odabir sudionika u ovoj studiji korišteni su sljedeći kriteriji uključivanja: dobni raspon 20-80 godina; pacijenti s prvim moždanim udarom (ishemijskim ili hemoragičnim moždanim udarom) kojima je dijagnozu dijagnosticirao liječnik neurokirurgije/neurologije koji nije povezan s ovom studijom; interval od 4-8 tjedana od dana početka moždanog udara do njegove potvrde pomoću magnetske rezonancije ili kompjutorizirane tomografije; trenutno ima hemiplegiju s III ili IV stupnjem oporavka po Brunnstromu; te hospitalizacija u rehabilitacijskoj jedinici tijekom cijele intervencije. Sveukupno, 715 pacijenata iz dodijeljenih bolnica prošlo je proces probira, a 60 pacijenata odabrano je na temelju kriterija odabira. Randomizacija je provedena za sudionike koji

su primili ili robotsku terapiju (robotska grupa, N = 30) ili samovođenu terapiju (samovođena grupa, N = 30), uz standardnu rehabilitaciju.

U robotskoj skupini, sudionik je primao robotsku terapiju (ReoGO robot) 40 min/dan, uz konvencionalnu terapiju, tijekom 6-tjednog razdoblja.

Ova studija je imala nekoliko ograničenja. Podaci iz prethodnog rada korišteni su u ovoj studiji, ali nije dano objašnjenje za isključenje 655 pacijenata; prema tome, možda je došlo do pristranosti u analizi podataka. Još jedno ograničenje studije bila je mala veličina uzorka. Mala ispitivana populacija mogla je utjecati na analizu podskupina. Osim toga, u ovoj studiji bilo je nekih raspršenih P-vrijednosti $< 0,05$, ali one nisu prilagođene za višestrukost. Stoga bi ovaj rezultat mogao biti slučajan. Nadalje, budući da je ova studija bila retrospektivna pod-analiza prethodne studije; stoga ostaje nejasno je li odgovarajuća razina robotske pomoći pospješila funkcionalno poboljšanje ili je odgovarajuća razina robotske pomoći određena nakon funkcionalnog oporavka. Stoga nije utvrđen jasan uzročno-posljedični odnos između količine robotske pomoći i količine funkcionalnog poboljšanja, a ove rezultate treba tumačiti uzimajući u obzir te čimbenike. Osim toga, ispitana je količina pomoći robota prema težini paralize gornjih ekstremiteta koristeći samo procijenjene vrijednosti temeljene na klasičnim kliničkim testovima, ali nije provedeno ispitivanje korištenjem objektivnih parametara specifičnih za robota.

Stoga je potrebno provesti buduća randomizirana kontrolirana ispitivanja koja koriste vrhunske robotske uređaje i koja procjenjuju veću veličinu uzorka kako bi se istražilo kako razina i metodologija robotske pomoći mogu utjecati na poboljšanje funkcije gornjih ekstremiteta.

Utvrđeno je da je optimalna količina robotske pomoći ključna za maksimiziranje poboljšanja paralize GE nakon moždanog udara. Nadalje, ozbiljnost paralize GE važan je faktor pri odlučivanju o količini pomoći u robotskoj terapiji. Točnije, kako bi se postiglo maksimalno poboljšanje uz robotsku rehabilitaciju kod pacijenata s paralizom GE nakon moždanog udara, važno je postaviti nižu razinu robotske pomoći za blago paralizirane pacijente i višu razinu robotske pomoći za teško paralizirane pacijente kako bi se potaknuli odgovarajući dobrovoljni pokreti. U budućnosti bi bilo vrijedno usporediti učinke rehabilitacije robota između skupina s niskom i visokom pomoći kroz prospektivna randomizirana kontrolirana ispitivanja (33).

2. Učinkovitost primjene robotike u rehabilitaciji donjih ekstremiteta nakon moždanog udara

2.1. Pregled robotskih uređaja za rehabilitaciju gornjih ekstremiteta

Posljednjih godina razvijene su različite vrste robota za rehabilitaciju donjih udova kako bi se poboljšala motorička funkcija paraliziranih udova kod pacijenata s moždanim udarom. Općenito, roboti za rehabilitaciju donjih udova mogu se podijeliti u dvije kategorije, a to su egzoskeletni roboti i *end-effector* roboti, odnosno roboti namijenjeni za krajnji dio ekstremiteta. Na primjer, *Lokomat* tipičan egzoskeletni roboti, dok je npr. *Haptic Walker* robot za krajnji dio ekstremiteta. (3,17).

2.1.1. ALEX

Fakultet strojarstva, Sveučilište Delaware, razvio je robota za aktivno hodanje pod nazivom *ALEX* (Slika 8.). Sastoji se od pomične konzole, egzoskeletne ortoze donjih ekstremiteta i upravljačkog sustava. Svaka noga ima četiri stupnja slobode, dva stupnja slobode kuka i jedan stupanj slobode koljena i skočnog zgloba. Leđa *ALEX*-a, koristeći mehanizme za uravnoteženje gravitacije ljudskog tijela, mogu pomoći pacijentima u postizanju ravnoteže (21).



Slika 8. ALEX

Izvor: https://www.researchgate.net/figure/Active-leg-exoskeleton-ALEX-worn-by-the-subjects-on-their-affected-extremity-during_fig5_266944199

2.1.2. Lokomat

Godine 2001. Švicarski federalni institut za tehnologiju u *Zürichu* razvio je robota *Lokomat* (Slika 9.) za rehabilitaciju hoda tipa egzoskeleta uz korištenje pokretnih traka. *Lokomat* se sastoji od dvije aktivirane ortoze za noge koje se pričvršćuju na noge pacijenta. Svaka ortoza ima jedan linearni pogon u zglobu kuka i jedan u zglobu koljena za induciranje pokreta fleksije i ekstenzije kuka i koljena u sagitalnoj ravnini. Momenti zglobova koljena i kuka mogu se odrediti pomoću senzora sile između aktuatora i ortoze. Mogu se dodati pasivni podizači stopala kako bi se izazvala dorzalna fleksija gležnja tijekom faze zamaha. Sustav podrške tjelesnoj težini oslobađa pacijente određene količine njihove tjelesne težine putem pojasa (35, 36).



Slika 9. Lokomat

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

2.1.3. Walkbot G

Walkbot G (Slika 10.) je robotski potpomognut rehabilitacijski sustav za treniranje hoda s dvostrukim robotskim ortozama kompatibilne su za odrasle i pedijatrijske osobe, a također mogu biti kompatibilne s raznim opcijama koje pomažu lokomotornom treningu da maksimizira svoje učinke treninga. Usvojen je snažniji modul za dinamičku podršku tjelesne težine u stvarnom vremenu s daljinskim upravljačem (37).



Slika 10. Walkbot-G

Izvor: <http://walkbot.co.kr/introduction/?ckattempt=1>

2.1.4. TheraDrive

Haptic TheraDrive (Slika 11.) je robot s jednim stupnjem slobode za rehabilitaciju nakon moždanog udara. Korisnik upravlja *TheraDriveom* manipulirajući okomito postavljenom ručkom opremljenom sensorima sile i optičkim koderom. Za potrebe procjene, radi u načinu kompenzacije gravitacije (21).



Slika 11. TheraDrive

Izvor: <https://www.scitepress.org/papers/2014/49346/49346.pdf>

2.1.5. Ekso-GT

Ekso GT (Slika 12.), robotski egzoskelet koji je izradio *Ekso Bionics* i odobren za upotrebu kod osoba sa SCI i hemiplegijom zbog moždanog udara. Ekso uređaj je baterijsko odijelo izrađeno od

karbonskih vlakana i koristi hidraulički sustav napajanja. Ovaj egzoskelet pričvršćuje se bilateralno za donje ekstremitete i ima električno pokretane zglobove kuka i koljena te pasivnu artikulaciju gležnja s oprugom koja podržava odmicanje nožnih prstiju i razmak stopala putem podnožja. Senzori su ugrađeni u naramenice koje pristaju oko tijela korisnika, a koji reagiraju na mišićni učinak korisnika. Ekso radi u više načina ovisno o razini pomoći koja je potrebna pacijentu, a također trenira prijelazne pokrete kao što su sjedenje u stajanje i stajanje u sjedenje (39, 40).



Slika 12. Ekso-GT

Izvor: <https://www.flickr.com/photos/klaasfotocollectie/40023227740>

2.1.6. Ankle Robot

Ankle Robot (Slika 13.) se nosi unutar obuće subjekta na zahvaćenoj strani tijekom svakog treninga. Nosivi robot modificiran je iz zglobne ortoze za gležanj (od eng. Ankle Foot Orthosis – AFO) sa skočnim zglobom spojenim s rotacijskim servomotorom i pojačivačem momenta koji može pružiti električnu pomoć u dorzalnoj/plantarnoj fleksiji gležnja pravicima. Robot može identificirati promjene u opterećenju stopala i fazama hoda pomoću ugrađenih otpornika osjetljivih na silu postavljenih ispod pete i prednjeg dijela stopala. Inercijalna mjerna jedinica postavljena na dršku može mjeriti kut nagiba noge za klasificiranje namjere hodanja korisnika na ravninu i hodanje po stepenicama. Robot teži 0,5 kg (uključujući AFO i motor) na nozi, s upravljačkom kutijom (0,5 kg) koju drži trener (41,42).



Slika 13. Ankle Robot

Izvor: https://www.researchgate.net/figure/a-Robot-assisted-AFO-and-b-Stroke-patients-walking-on-stairs-wearing-the-robot-assisted_fig1_325844691

2.2. Pregled istraživanja primjene robotike u rehabilitaciji gornjih ekstremiteta nakon moždanog udara

Hemiparetički hod se često javlja kao posljedica moždanog udara. Stoga je poboljšanje obrasca hoda važan cilj rehabilitacije (43).

2.2.1. Primjena ALEX robota u rehabilitaciji

Trening na pokretnoj traci uz potporu tjelesne mase (od eng. *Body-Weight Supported Treadmill Training – BWSTT*) jedan je od pristupa ponovnom osposobljavanju hoda nakon moždanog udara. Djelomična podrška tjelesnoj težini olakšava pacijentima kontrolu donjih udova i trupa tijekom treninga. Ali, glavni nedostatak ovog treninga je to što je naporan za terapeute ali i pacijente, obzirom da je potreban jedan ili dva terapeuta da ručno pomažu pacijentima pri kretanju nogu i stabilizaciji njihovog trupa. Osim toga, ručna pomoć koja se pruža tijekom treninga razlikuje se od jednog do drugog terapeuta i stoga je teško svaki put biti dosljedan. Robotski egzoskeleti donjih udova razvijeni su kako bi se prevladala neka od gore navedenih ograničenja *BWSTT*-a (45,43).

Studija Srivastava i sur. imala je za cilj istražiti učinkovitost robot asistiranog treninga hoda (od engl. *Robot Assisted Gait Training – RAGT*) uz pomoć *ALEX*-a na funkcionalnu sposobnost hodanja pojedinaca nakon moždanog udara. Devet osoba koje su preživjele moždani udar (7 muškaraca, 2 žene) više od 3 mjeseca prije studije bilo je uključeno u studiju. Došlo je do značajnih poboljšanja u brzini hodanja i ukupne ekscurzije zgloba kuka zadržali su se 6 mjeseci nakon treninga. Međutim, male promjene su vidljive u području gležnja nakon treninga. Stoga trenutni nalazi djelomično podržavaju hipotezu da bi *RAGT* po potrebi poboljšao obrasce hodanja i

funkcionalnu sposobnost nakon moždanog udara. Rezultati su pokazali da su osobe koje su preživjele moždani udar poboljšale kinematiku zgloba tijekom hodanja po tlu, poput značajnog povećanja vršnog kuta fleksije koljena tijekom faze zamaha i ukupne ekscurzije zgloba kuka tijekom cijelog ciklusa hoda. Međutim, nije bilo značajnih poboljšanja u kutovima zglobova gležnja, što ukazuje na ograničene učinke treninga plantarnih i dorzalnih fleksora gležnja. Došlo je do značajnih promjena u nekim kliničkim mjerama i brzini hoda nakon treninga. Iako neke od promjena u kliničkim mjerama mogu biti rezultat pogreške mjerenja, svi subjekti su pokazali poboljšanje nakon treninga. Ovi rezultati sugeriraju da postoji relativno skroman učinak vježbanja na traci za trčanje uz pomoć robota koji bi se mogao prenijeti na obrazac hodanja iznad zemlje i funkcionalnu sposobnost hodanja.

Glavno ograničenje ovog istraživanja je ograničena veličina uzorka. Zaključci ove studije temeljeni su na podacima devet osoba koje su preživjele moždani udar. Dugoročna obuka osoba koje su preživjele moždani udar s različitim razinama motoričkih oštećenja može bolje odrediti koje će razine ispitanika imati najviše koristi od pomoći po potrebi *RAGT*. Dodatno, u trenutnoj studiji nema kontrolne skupine. Usporedbe s *BWSTT*-om ili konvencionalnom terapijom pomogle bi odrediti je li paradigma treninga pomoći prema potrebi bolja strategija treninga za poboljšanje hoda nakon moždanog udara. Nadalje, nije moguće utvrditi jesu li terapijski učinci prikazani u trenutnoj studiji rezultat jedne komponente paradigme treninga ili kombiniranog učinka svih komponenti (17).

2.2.2. Primjena Lokomat robota u rehabilitaciji

U studiji slučaja Krishnana i sur. testirali hoće li olakšavanje aktivnog sudjelovanja pacijenta tijekom terapije robotski potpomognutog hoda pomoći u ublažavanju oštećenja hoda nakon moždanog udara. Sudionik istraživanja je bio 52-godišnji muškarac koji je preživio moždani udar (7 mjeseci nakon moždanog udara) koji je pretrpio desnu hemiparezu. Subjekt je prošao aktivnu robotsku obuku u trajanju od 12 treninga (3 treninga tjedno tijekom 4 tjedna). Tijekom tog razdoblja ispitanik nije primao nikakvu drugu terapiju niti je sudjelovao u drugim mogućnostima istraživanja. Svaki trening trajao je oko 90 minuta s nekoliko razdoblja odmora, prema potrebi. Tijekom svakog treninga, ispitanik je hodao uz pomoć robota i vježbao obrazac hoda koji je zahtijevao veću ekscurziju kukova i koljena tijekom faze njihanja u ciklusu hoda.

Pokazalo se da je četiri tjedna aktivnog robotskog treninga dovelo do značajnih poboljšanja nekoliko kliničkih i funkcionalnih parametara, a ta su se poboljšanja zadržala i tijekom naknadne evaluacije. Važno je napomenuti da su poboljšanja bila puno veća od pogrešaka mjerenja te su također bila znatno veća od prosječnih poboljšanja uočenih nakon konvencionalne Lokomat potpomognute terapije hoda i treninga na traci za trčanje uz pomoć terapeuta.

Iako je ograničenje studije proučavanje samo jednog sudionika, rezultati sugeriraju da su ovi ishodi bili klinički značajni i da je pacijentovo kooperativno robotsko vježbanje hoda s praćenjem cilja izvediv i potencijalno učinkovit pristup minimiziranja oštećenja hoda nakon moždanog udara.

Uz poboljšanja koja su bila specifična za trening (kao što je smanjena pogreška praćenja i varijabilnost), rezultati su također pokazali poboljšanja u sposobnostima koje nisu bile posebno trenirane. Sudionik je pokazao poboljšanje u ravnoteži jedne noge na paretičkoj nozi, od 1s prije treninga do 15 s nakon treninga. Ovo poboljšanje također je održano tijekom naknadnog pregleda. Povećanje vremena ravnoteže na jednoj nozi može biti važno sa stajališta smanjenja rizika od padova. Ovo poboljšanje dogodilo se unatoč činjenici da *Lokomat* ograničava bočno i aksijalno kretanje zdjelice – što je važna značajka za treniranje ravnoteže i stabilnosti. Također, došlo je do prelaska na hodanje po zemlji što se odražava u poboljšanjima u brzini hodanja, udaljenosti od 6 minuta hodanja. Ova poboljšanja pokazuju da robotska obuka može proizvesti poboljšanja koja nisu samo specifična za kontekst, već se mogu generalizirati na aktivnosti svakodnevnog života (43).

Također, studija Choi W pokazuje rezultate svoje studije u kojoj su se istraživali učinci treninga hodanja potpomognutog robotom uz podršku tjelesne težine na hod i ravnotežu u bolesnika s moždanim udarom. U istraživanju su sudjelovala 24 pacijenta s dijagnosticiranim moždanim udarom. Pacijenti su podijeljeni u četiri grupe, a u rehabilitaciji potpomognutom robotom se koristio *Lokomat PRO* robot. Neka od ograničenja studije su relativno mali uzorak od 24 pacijenta, detaljan test fizičke funkcije kao što je *Fugl-Meyerova* procjena nije proveden. Daljnje studije trebale bi izmjeriti ove varijable kako bi se razlikovale preciznije karakteristike pacijenata kako bi se istražio učinak treninga uz pomoć robota s različitim stupnjevima podrške tjelesnoj težini. Osim toga, ne može se isključiti činjenica da su grupe koje treniraju hod uz pomoć robota možda imale psihološki placebo učinak u usporedbi s grupom koja nije bila robot, što je moglo utjecati na rezultate. Stoga je rezultate teško generalizirati.

Rezultati ove studije pokazuju da robotski potpomognuti trening hoda s potporom tjelesne težine pomaže u poboljšanju sposobnosti hodanja po ravnoj liniji pacijenata s kroničnim moždanim udarom. Nadalje, robotski potpomognuti trening hodanja s 30% nosivosti može poboljšati funkcionalni hod i sposobnost ravnoteže (44, 45).

2.2.3. Primjena Walkbot robota u rehabilitaciji

U randomiziranom kontroliranom ispitivanju Park C i sur. su istraživali robotski potpomognut treningu hoda (od eng. *RAGT*) temeljen na *Walkbotu* za procjenu komparativnih učinaka inovativnog koordiniranog gležanj-koljeno-kuk sustava za trening humanoidnih robota (od eng. *ankle-knee-hip Interlimb Coordinated robotic Training - ICT*). U ispitivanju je sudjelovalo 20 pacijenata s akutnim hemiparetičkim moždanim udarom (prosječna dob 73 godine, 12 žena). Robotski interaktivni trening hoda pružio je optimalni koordinirani trening između zglobova gležanj-koljeno-kuk, koji je smanjio spastičnost i povezanu ukočenost i abnormalne sinergističke (ekstenzorske) obrasce hoda dok je poboljšavao aktivno sudjelovanje i povezanu aktivnu silu tijekom hodanja.

ICT koji uključuje pokrete gležanj-koljeno-kuk s konvencionalnom fizikalnom terapijom u akutnoj bolničkoj fazi nakon moždanog udara bio je povezan s poboljšanim biomehaničkim profilom hoda i kliničkim statusom. Rezultati naglašavaju uključivanje *ICT*-a u konvencionalnu terapiju kao uspješnu intervenciju za abnormalnu spastičnost, sinergistička i promijenjena biomehanička oštećenja hoda u bolesnika s akutnim moždanim udarom. Ono što je najvažnije, *Walkbot ICT* sustav omogućuje autonomnu slobodu pružanja točnih kvantitativnih biomehaničkih povratnih informacija u stvarnom vremenu, kao i učinkovitog i održivog koordiniranog lokomotornog treninga između udova gležanj-koljeno-kuk, što bi moglo poslužiti kao osnova za naprednu robotsku znanost i medicinska istraživanja (46).

2.2.4. Primjena TheraDrive robota u rehabilitaciji

Ovo pilot randomizirano kontrolirano ispitivanje Bustamante Valles K i sur. u kojem su pacijenti raspoređeni na tradicionalnu terapiju ili terapiju u robotskoj teretani (*Robot Gym*) stvorio je pristupačnu kliniku za terapiju moždanog udara koristeći robota TheraDrive i druge slične jeftine tehnologije u kombinaciji s terapijom igrom. Ovaj koncept liječenja nakon moždanog udara jedinstven je po tome što kombinira širok raspon pomoćnih i robotskih tehnologija. Osim toga, podržava da održivo, dostupno rješenje rehabilitacije može uključivati pristupačne robote zajedno

s drugim isplativim tehnologijama rehabilitacije. Tipična skupina pacijenata s moždanim udarom nasumično je raspoređena u intervencijsku (n = 10) ili kontrolnu skupinu (n = 10). Intervencijska skupina primila je rehabilitaciju pomoću uređaja u robotskoj teretani, dok je kontrolna skupina primila standardnu njegu. Svi subjekti studije bili su uključeni u 24 treninga dvosatne terapije u razdoblju od 6 do 8 tjedana. Za procjenu motoričke funkcije prije i poslije intervencije korišteno je nekoliko testova kliničke procjene za gornje i donje ekstremitete. Nisu primijećene značajne razlike kada su se uspoređivali rezultati prije intervencije *Mini-mental*, *Brunnstrom Test* i *Geriatric Depression Scale Test*, pokazujući da su obje skupine bile funkcionalno slične prije intervencije. Iako su obje grupe za trening bile funkcionalno jednake, imale su značajnu dobnu razliku. Rezultati svih testova gornjih ekstremiteta pokazali su poboljšanje funkcije u obje skupine bez statistički značajnih razlika između skupina. *Fugl-Meyer* i *10 Meters Walk* testovi donjih ekstremiteta pokazali su veće poboljšanje u intervencijskoj skupini u usporedbi s kontrolnom skupinom. Na *Time Up and Go* testu nisu primijećene statistički značajne razlike prije i poslije intervencije pri usporedbi kontrolne i intervencijske skupine. Za 6-minutni test hodanja, obje grupe su pokazale statistički značajnu razliku prije i poslije intervencije, pokazujući napredak u njihovoj izvedbi. Kontrolna skupina primila je standardnu rehabilitacijsku terapiju, koja uključuje personaliziranu fizikalnu i radnu terapiju obično u omjeru jedan-na-jedan terapeut i pacijent.

Rezultati ove studije pokazali su da su pacijenti koji su primili terapiju pomoću Robot Gyma imali poboljšanu funkcionalnost u testovima gornjih ekstremiteta slično pacijentima u kontrolnoj skupini. U testovima donjih ekstremiteta, intervencijski pacijenti pokazali su više poboljšanja od onih koji su bili podvrgnuti tradicionalnoj terapiji. Ovi rezultati potvrđuju da *Robot Gym*, uključujući robot TheraDrive, može biti jednako učinkovit kao i tradicionalna terapija za pacijente s moždanim udarom (47).

2.2.5. Primjena Ekso – GT robota u rehabilitaciji

Randomizirano kontrolirano ispitivanje Read E i sur. provedeno je u 3 bolnice za rehabilitaciju. Pacijenti sa subakutnim moždanim udarom (< 3 mjeseca) u dobi starijoj od 19 godina koji nisu mogli hodati bez značajne pomoći (ocjena funkcionalne ambulacijske kategorije 0 ili 1) nasumično su raspoređeni na terapiju temeljenu na egzoskeletu ili standardnu fizikalnu terapiju tijekom rehabilitacije, do otpusta ili najviše 8 tjedana. Eksperimentalni protokol zamijenio je 75% standardnih fizikalne terapije individualiziranim treninzima temeljenim na egzoskeletu kako bi se

povećalo ponavljanje stajanja i koraka, uz mogućnost odvikavanja od uređaja. Ova studija koristila je egzoskelet s pogonom *EksoGT (Ekso Bionics, Richmond, Kalifornija, SAD)*.

Trideset i šest pacijenata s moždanim udarom (srednja vrijednost 39 dana nakon moždanog udara) bilo je randomizirano (egzoskelet = 19, uobičajena njega = 17). U analizi namjere liječenja nisu pronađene značajne razlike između skupina u primarnim ili sekundarnim ishodima nakon intervencije ili nakon 6 mjeseci. Pet sudionika randomiziranih u skupinu s egzoskeletom nije primilo protokol kako je planirano. Analiza prema liječenju otkrila je da su oni koji su se pridržavali fizikalne terapije temeljene na egzoskeletu ranije ponovno počeli samostalno hodati i imali veću brzinu hoda nakon 6 mjeseci; međutim, te razlike nisu bile značajne u analizi po protokolu. Ovo je istraživanje pokazalo da fizikalna terapija temeljena na egzoskeletu ne dovodi do većeg poboljšanja u samostalnosti hodanja od standardne njege, ali se može sigurno primijeniti bez štete po ishode pacijenata (48).

2.2.6. Primjena Ankle robota u rehabilitaciji

U studiji Yeung LF i sur. osobe koje su preživjele subakutni moždani udar (unutar 2 mjeseca nakon početka moždanog udara) dobile su konvencionalnu obuku integriranu s 20 treninga uz pomoć robota (najmanje dva puta tjedno, 30 minuta po sesiji) u okruženju iznad zemlje i na stepenicama, noseći robot za gležnjeve s pomoćnim pogonom (n = 14) ili robot za gležnjeve s kontrolom njihanja (n = 16) u usporedbi s kontrolnom skupinom koja je primala samo konvencionalni trening (KT, n = 17). Kliničke procjene provedene su prije i nakon intervencije od 20 treninga, uključujući funkcionalnu ambulantnu kategoriju kao primarnu mjeru ishoda, zajedno s *Bergovom* ljestvicom ravnoteže i vremenskim testom hodanja na 10 metara. Nakon intervencija od 20 treninga, sve tri skupine pokazale su statistički značajno i klinički značajno funkcionalno poboljšanje unutar skupine u svim mjerama ishoda. Usporedba između grupa pokazala je da je robot za gležnjeve s kontrolom njihanja imao veće poboljšanje u funkcionalnoj ambulantnoj kategoriji s više od 56% samostalnih hodača nakon treninga, u usporedbi sa samo 29% za KT (49).

U studiji Yeung LF, Ockenfeld C i sur. u randomiziranom kontrolnom ispitivanju devetnaest pacijenata s kroničnim moždanim udarom s motoričkim oštećenjem gležnja sudjelovalo je u 20 robotski potpomognutih treninga hoda pet tjedana, s 30-minutnim hodanjem po zemlji i vježbama hodanja po stepenicama.

Ispitanici su imali blago motoričko oštećenje u zahvaćenom gležnju s abnormalnim hodom spuštenog stopala. Prisutnost pada stopala procijenjena je traženjem pacijenata s moždanim udarom da izvrše dorzalnu fleksiju gležnja i promatranjem je li gležanj u mogućnosti dorzifleksije prekoračivši neutralni položaj. Osim toga, pacijenti s moždanim udarom moraju biti sposobni stajati i hodati bez ručne pomoći dulje vrijeme. Subjekti su ostali u ispitivanju oko šest mjeseci, uključujući trening hodanja i period praćenja. Imali su trening hodanja od 20 treninga najmanje dva puta tjedno. Dodijeljeno mjesto treninga izmjenjivalo se kako bi se ispitanicima omogućilo izlaganje različitom okruženju radi poboljšanja varijacija zadataka. Sve treninge održavao je isti kvalificirani trener unatoč višestrukim centrima. U svakoj treningu ispitanici su izvodili tri zadatka hodanja od 10 minuta: (1) prvo hodanje po zemlji, (2) penjanje/spuštanje stubištem i (3) drugo hodanje po zemlji. Trener je hodao uz subjekta tijekom treninga hodanja kako bi osigurao sigurnost i dao verbalni znak na ekstenziju glave/trupa u slučaju povećanja kifoze trupa ili svjesnost središnje linije kad se subjekt naslonio na nezahvaćenu stranu.

Rezultati: nakon 20 robotski potpomognutog treninga hoda uz pomoć dorzalne fleksije gležnja, aktivna pomoć gležnju izazvala je promjene u obrascu hoda s poboljšanom neovisnošću, motorički oporavak, brzina hodanja i veće povjerenje u reakciju pogođenog bočnog opterećenja.

Stoga, robotski potpomognuti trening hodanja uz pomoć dorzalne fleksije gležnja mogao bi poboljšati neovisnost hodanja i pomoći pacijentima s moždanim udarom da razviju povjerenje u prihvaćanje težine, ali budući razvoj robotski potpomognutog AFO-a trebao bi razmotriti lakši i prilagođeniji dizajn (50).

3. Prednosti i mane primjene robotike u rehabilitaciji

3.1. Prednosti

Prednosti korištenja robotike za rehabilitaciju je u tome što se robotska tehnologija može koristiti za kvantificiranje i praćenje motoričkih ponašanja ili biosignala za pojedinačne pacijente. Stoga rehabilitacijska robotika može predstavljati metodu koja danas postoji za precizno pokretanje terapijskog angažmana i mjerenje preciznih ishoda. Neki su pacijenti smatrali da je robotska aktivna pomoć bila korisna za njihovo vježbanje, jer je pacijentu omogućila koordinaciju i željeni obrazac kretanja bez otežanih kompenzacijskih pokreta trupa. U treningu potpomognutom robotom, tjelesnu težinu pacijenta podržava sustav pojasa, čime se eliminira potreba za pomoći terapeuta, kao kod treninga na traci za trčanje uz podršku tjelesne težine. Robotski egzoskeleti

moгу se pokazati atraktivnim rehabilitacijskim alatom ne samo za vraćanje lokomocije već i za poboljšanje razine tjelesne aktivnosti godinama nakon ozljede. Robotski egzoskeleti mogu smanjiti vrijeme sjedenja, produžiti vrijeme stajanja i hodanja. Hardver robota omogućuje kontrolu trake za trčanje, sustava pojaseva i okvira robota tako da se različite tehnike mogu primijeniti na pacijenta na temelju njegovih potreba

3.2.Nedostatci

Neke od mana vezano za krajnji efektor su da daje silu ne uzimajući u obzir individualne pokrete zglobova udova pacijenata, koji donose probleme kao što su ograničeni raspon pokreta i problema sa nemogućnosti daljnjeg pokreta. Nadalje, krajnji efektor nije prenosiv jer je izvan ljudskog tijela, što ograničava upotrebu u klinici. Aktivna pomoć ponekad nije bila u skladu s planiranim kretanjem pacijenata. Mehanička složenost i visoka inercija koja proizlazi iz robotskih pokretača, koji pružaju aktivno-pomoćnu silu, otežavaju robotsku obuku. Također, važno je napomenuti da je potrebna edukacija terapeuta prije provođenja rehabilitacije s pacijentima što također ograničava provedbu ovakve rehabilitacije. Također jedna od mana robotske rehabilitacije je svakako i cijena samog robota što dakako ograničava proširenost i dostupnost svim pacijentima (26, 30-32, 40-44).

ZAKLJUČAK

Ovaj pregledni rad dao je uvid u primjenu robotike, njene prednosti i mane i samu učinkovitost u rehabilitaciji nakon moždanog udara. Pregledom istraživanja koja su se koristila u ovom radu, obzirom na količinu ispitanika u studijama i njihovim ograničenjima, dolazi se do zaključka da se primjena robotike u rehabilitaciji nakon moždanog udara, istražena u ovom radu, ne može generalizirati i reći da je sigurno učinkovita. Iako pojedini rezultati sugeriraju na superiornost robotske rehabilitacije nad manualnom rehabilitacijom, odnosno rehabilitacijom „jedan na jedan“, učinak rehabilitacije je najbolji u kombinaciji obje vrste terapije. Stoga, hipoteza se ne može opovrgnuti ali ni prihvatiti s obzirom na to da se na samostalnu rehabilitaciju bez konvencionalne terapije još ne odlučuje kao idealnu rehabilitaciju. Svakako, posebno bi se trebala naglasiti važnost razvijanja ovakve robotske rehabilitacije, obzirom da pridonosi i pacijentu i terapeutu. Pacijentu u vidu zanimljivije i jednostavnije terapije sa sigurnim osloncem (pogotovo u rehabilitaciji hoda), dok terapeutu robotska rehabilitacija olakšava u vidu smanjenja opterećenja kojeg mora savladati pridržavajući pacijenta npr. tijekom hoda, te u vidu veće funkcionalnosti i mobilnosti (ne mora vrijediti ono pravilo „jedan na jedan“ odnosno jedan terapeut može nadzirati više pacijenata istovremeno).

Pregledavajući literaturu, uočila se potreba za novim detaljnijim istraživanjima s većim uzorcima te istraživanjima s ispitanicima akutne, subakutne i kronične faze u istom istraživanju kako bi se najbolje moglo utvrditi u kojoj fazi rehabilitacije moždanog udara je pravo vrijeme za početak terapije robotom.

PRIVITAK: POPIS ILUSTRACIJA

Slike

Slika 1. H-Man.....	13
Slika 2. In Motion arm/hand robot.....	14
Slika 3. Armeo Spring.....	14
Slika 4. L-Exos.....	15
Slika 5. ReHaptic Knob	16
Slika 6. Kinarm	16
Slika 7. ReoGO	17
Slika 8. ALEX.....	27
Slika 9. Lokomat.....	28
Slika 10. Walkbot-G	29
Slika 11. TheraDrive	29
Slika 12. Ekso-GT.....	30
Slika 13. Ankle Robot.....	31

ŽIVOTOPIS

Rođena sam 12.6.2000. godine u Splitu. Cijeli svoj život stanujem u Trogiru gdje sam 2015. godine završila Osnovnu školu „Petar Berislavić” i 2019. godine Srednju školu Ivana Lucića – Opća gimnazija. Iste godine upisujem Preddiplomski stručni studij fizioterapije na Fakultetu zdravstvenih studija Sveučilišta u Rijeci. Kroz osnovnoškolsko, srednjoškolsko i akademsko razdoblje sudjelovala sam u brojnim volontiranjima koja su obilježila moj život, uključujući centre za rehabilitaciju, Crveni križ Trogir, Caritas Župe sv. Lovre u Trogiru, Udrugu za sindrom Down - Rijeka 21. Također, sudjelovala sam i u volontiranjima u sklopu Fakulteta zdravstvenih studija u Rijeci: 2019./2020. godine u projektu „Student-mentor” te 2021. godine u projektu „Studenti volontiraju” kao ispomoć na COVID odjelima KBC-a Rijeka u vrijeme pandemije COVID-19.

LITERATURA

1. Volpe BT, Huerta PT, Zipse JL, Rykman A, Edwards D, Dipietro L, Hogan N, Krebs HI. Robotic devices as therapeutic and diagnostic tools for stroke recovery. *Arch Neurol*. 2009 Sep;66(9):1086-90. doi: 10.1001/archneurol.2009.182. PMID: 19752297; PMCID: PMC5576183.
2. World Health Organization. Rehabilitation. Dostupno na: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/rehabilitation> Pristupljeno: 30. travnja, 2022.
3. Oña ED, Cano-de la Cuerda R, Sánchez-Herrera P, Balaguer C, Jardón A. A Review of Robotics in Neurorehabilitation: Towards an Automated Process for Upper Limb. *J Healthc Eng*. 2018 Apr 1;2018:9758939. doi: 10.1155/2018/9758939. PMID: 29707189; PMCID: PMC5901488.
4. Hidler J, Sainburg R. Role of Robotics in Neurorehabilitation. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*. 2011 Summer;17(1):42-49. doi: 10.1310/sci1701-42. PMID: 21857778; PMCID: PMC3157701.
6. Zhang K, Chen X, Liu F, Tang H, Wang J, Wen W. System Framework of Robotics in Upper Limb Rehabilitation on Poststroke Motor Recovery. *Behav Neurol*. 2018 Dec 13;2018:6737056. doi: 10.1155/2018/6737056. PMID: 30651892; PMCID: PMC6311736.
7. Nudo RJ. Postinfarct cortical plasticity and behavioral recovery. *Stroke* [Internet.] 2007. [pristupljeno 2.5.2022.]; 38 (2 Suppl): 840-5. doi:10.1161/01.STR.0000247943.12887.d2. PMID: 17261749.
8. Zhang X, Yue Z, Wang J. Robotics in Lower-Limb Rehabilitation after Stroke. *Behav Neurol*. 2017;2017:3731802. doi:10.1155/2017/3731802
9. Tamburella F, Moreno JC, Herrera Valenzuela DS, et al. Influences of the biofeedback content on robotic post-stroke gait rehabilitation: electromyographic vs joint torque biofeedback. *J Neuroeng Rehabil*. 2019;16(1):95. doi:10.1186/s12984-019-0558-0
10. Zavoreo I, Bašić-Kes V, Demarin V. Stroke and neuroplasticity. *Periodicum biologorum* [Internet]. 2012 [pristupljeno 01.05.2022.];114(3):393-396. Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/96149>
11. Telebuh M, Dašek M, Grozdek Čovčić G. Kvaliteta života osoba u subakutnoj i kroničnoj fazi oporavka nakon moždanog udara. *Hrvatska revija za rehabilitacijska istraživanja* [Internet]. 2018 [pristupljeno 30.04.2022.];54(2):49-58. <https://doi.org/10.31299/hrri.54.2.5>

12. Young J, Forster A. Review of stroke rehabilitation. *BMJ*. 2007 Jan 13;334(7584):86-90. doi: 10.1136/bmj.39059.456794.68. PMID: 17218714; PMCID: PMC1767284.
13. Van Peppen RP, Kwakkel G, Wood-Dauphinee S, Hendriks HJ, Van der Wees PJ, Dekker J. The impact of physical therapy on functional outcomes after stroke: what's the evidence? *Clin Rehabil*. 2004 Dec;18(8):833-62. doi: 10.1191/0269215504cr843oa. PMID: 15609840.
14. Alawieh A, Zhao J, Feng W. Factors affecting post-stroke motor recovery: Implications on neurotherapy after brain injury. *Behav Brain Res*. 2018 Mar 15;340:94-101. doi: 10.1016/j.bbr.2016.08.029. Epub 2016 Aug 13. PMID: 27531500; PMCID: PMC5305670.
15. Takebayashi T, Takahashi K, Okita Y, Kubo H, Hachisuka K, Domen K. Impact of the robotic-assistance level on upper extremity function in stroke patients receiving adjunct robotic rehabilitation: sub-analysis of a randomized clinical trial. *J Neuroeng Rehabil*. 2022 Feb 25;19(1):25. doi: 10.1186/s12984-022-00986-9. PMID: 35216603; PMCID: PMC8881821.
16. Krebs HI, Volpe BT, Williams D, Celestino J, Charles SK, Lynch D, Hogan N. Robot-aided neurorehabilitation: a robot for wrist rehabilitation. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2007 Sep;15(3):327-35. doi: 10.1109/TNSRE.2007.903899. PMID: 17894265; PMCID: PMC2733849.
17. Srivastava S, Kao PC, Kim SH, Stegall P, Zanotto D, Higginson JS, Agrawal SK, Scholz JP. Assist-as-Needed Robot-Aided Gait Training Improves Walking Function in Individuals Following Stroke. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2015 Nov;23(6):956-63. doi: 10.1109/TNSRE.2014.2360822. Epub 2014 Oct 13. PMID: 25314703; PMCID: PMC6050016.
18. Alingh JF, Fleerkotte BM, Groen BE, Rietman JS, Weerdesteyn V, van Asseldonk EHF, Geurts ACH, Buurke JH. Effect of assist-as-needed robotic gait training on the gait pattern post stroke: a randomized controlled trial. *J Neuroeng Rehabil*. 2021 Feb 5;18(1):26. doi: 10.1186/s12984-020-00800-4. PMID: 33546733; PMCID: PMC7863532.
19. Koenig A, Omlin X, Bergmann J, Zimmerli L, Bolliger M, Müller F, Riener R. Controlling patient participation during robot-assisted gait training. *J Neuroeng Rehabil*. 2011 Mar 23;8:14. doi: 10.1186/1743-0003-8-14. PMID: 21429200; PMCID: PMC3076234.
20. Campolo D, Tommasino P, Gamage K, Klein J, Hughes CM, Masia L. H-Man: a planar, H-shape cabled differential robotic manipulandum for experiments on human motor control. *J*

Neurosci Methods. 2014 Sep 30;235:285-97. doi: 10.1016/j.jneumeth.2014.07.003. Epub 2014 Jul 21. PMID: 25058923.

21. Krebs HI, Volpe BT. Rehabilitation robotics. *Handb Clin Neurol*. 2013;110:283-94. doi: 10.1016/B978-0-444-52901-5.00023-X. PMID: 23312648; PMCID: PMC4688009.

22. Olczak A, Truszczyńska-Baszak A, Stępień A. The Use of Armeo[®]Spring Device to Assess the Effect of Trunk Stabilization Exercises on the Functional Capabilities of the Upper Limb-An Observational Study of Patients after Stroke. *Sensors (Basel)*. 2022 Jun 8;22(12):4336. doi: 10.3390/s22124336. PMID: 35746117; PMCID: PMC9229540.

23. Frisoli A, Procopio C, Chisari C, Creatini I, Bonfiglio L, Bergamasco M, Rossi B, Carboncini MC. Positive effects of robotic exoskeleton training of upper limb reaching movements after stroke. *J Neuroeng Rehabil*. 2012 Jun 9;9:36. doi: 10.1186/1743-0003-9-36. PMID: 22681653; PMCID: PMC3443436.

24. Schnurrer-Luke-Vrbanić T. Robotika u neurorehabilitaciji: jučer, danas, sutra. *Fizikalna i rehabilitacijska medicina [Internet]*. 2016 [pristupljeno 01.08.2022.];28(1-2):14-23. Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/163321>

25. Robot – Assisted Rehabilitation and Assessment of Hand Function [Internet.] ETH Zurich; 2022. [Posjećeno 30.7.2022.] Dostupno na: <https://relab.ethz.ch/research/current-research-projects/robot-assisted-rehabilitation-and-assessment-of-hand-function.html>

26. Budhota A, Chua KSG, Hussain A, Kager S, Cherpin A, Contu S, Vishwanath D, Kuah CWK, Ng CY, Yam LHL, Loh YJ, Rajeswaran DK, Xiang L, Burdet E, Campolo D. Robotic Assisted Upper Limb Training Post Stroke: A Randomized Control Trial Using Combinatory Approach Toward Reducing Workforce Demands. *Front Neurol*. 2021 Jun 2;12:622014. doi: 10.3389/fneur.2021.622014. PMID: 34149587; PMCID: PMC8206540.

27. Rodgers H, Bosomworth H, Krebs HI, van Wijck F, Howel D, Wilson N, Aird L, Alvarado N, Andole S, Cohen DL, Dawson J, Fernandez-Garcia C, Finch T, Ford GA, Francis R, Hogg S, Hughes N, Price CI, Ternent L, Turner DL, Vale L, Wilkes S, Shaw L. Robot assisted training for the upper limb after stroke (RATULS): a multicentre randomised controlled trial. *Lancet*. 2019 Jul 6;394(10192):51-62. doi: 10.1016/S0140-6736(19)31055-4. Epub 2019 May 22. PMID: 31128926; PMCID: PMC6620612.

28. Schnurrer-Luke-Vrbanić T, Avancini-Dobrović v, Baniček-Šoša i. Primjena egzoskeletnog robota u rehabilitaciji ruke kod bolesnika nakon pretrpljenog moždanog udara –

naša iskustva. Fizikalna i rehabilitacijska medicina [Internet]. 2015 [pristupljeno 01.08.2022.];27(1-2):50-58. Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/150746>

29. Adomavičienė A, Daunoravičienė K, Kubilius R, Varžaitytė L, Raistenskis J. Influence of New Technologies on Post-Stroke Rehabilitation: A Comparison of Armeo Spring to the Kinect System. *Medicina (Kaunas)*. 2019 Apr 9;55(4):98. doi: 10.3390/medicina55040098. PMID: 30970655; PMCID: PMC6524064

30. Amano Y, Noma T, Etoh S, Miyata R, Kawamura K, Shimodozono M. Reaching exercise for chronic paretic upper extremity after stroke using a novel rehabilitation robot with arm-weight support and concomitant electrical stimulation and vibration: before-and-after feasibility trial. *Biomed Eng Online*. 2020 May 6;19(1):28. doi: 10.1186/s12938-020-00774-3. PMID: 32375788; PMCID: PMC7203976.

31. Ranzani R, Lamercy O, Metzger JC, Califfi A, Regazzi S, Dinacci D, Petrillo C, Rossi P, Conti FM, Gassert R. Neurocognitive robot-assisted rehabilitation of hand function: a randomized control trial on motor recovery in subacute stroke. *J Neuroeng Rehabil*. 2020 Aug 24;17(1):115. doi: 10.1186/s12984-020-00746-7. PMID: 32831097; PMCID: PMC7444058.

32. Keeling AB, Piitz M, Semrau JA, Hill MD, Scott SH, Dukelow SP. Robot enhanced stroke therapy optimizes rehabilitation (RESTORE): a pilot study. *J Neuroeng Rehabil*. 2021 Jan 21;18(1):10. doi: 10.1186/s12984-021-00804-8. PMID: 33478563; PMCID: PMC7819212.

33. Takebayashi T, Takahashi K, Okita Y, Kubo H, Hachisuka K, Domen K. Impact of the robotic-assistance level on upper extremity function in stroke patients receiving adjunct robotic rehabilitation: sub-analysis of a randomized clinical trial. *J Neuroeng Rehabil*. 2022 Feb 25;19(1):25. doi: 10.1186/s12984-022-00986-9. PMID: 35216603; PMCID: PMC8881821.

34. Park JH, Park G, Kim HY, Lee JY, Ham Y, Hwang D, Kwon S, Shin JH. A comparison of the effects and usability of two exoskeletal robots with and without robotic actuation for upper extremity rehabilitation among patients with stroke: a single-blinded randomised controlled pilot study. *J Neuroeng Rehabil*. 2020 Oct 19;17(1):137. doi: 10.1186/s12984-020-00763-6. PMID: 33076952; PMCID: PMC7574181.

35. Schück A, Labruyère R, Vallery H, Riener R, Duschau-Wicke A. Feasibility and effects of patient-cooperative robot-aided gait training applied in a 4-week pilot trial. *J Neuroeng Rehabil*. 2012 May 31;9:31. doi: 10.1186/1743-0003-9-31. PMID: 22650320; PMCID: PMC3533836.

36. Riener R, Lunenburger L, Maier IC, Colombo G, Dietz V. Locomotor Training in Subjects with Sensori-Motor Deficits: An Overview over the Robotic Gait Orthosis Lokomat. *J Healthcare Eng.* 2010;**1**:197–215. doi: 10.1260/2040-2295.1.2.197.
37. Rewalking for perfection [Internet.] WALKBOT; Seoul, Korea;2006. [Posjećeno 30.7.2022.] Dostupno na: <http://walkbot.co.kr/introduction/?ckattempt=1>
38. Washabaugh EP, Treadway E, Gillespie RB, Remy CD, Krishnan C. Self-powered robots to reduce motor slacking during upper-extremity rehabilitation: a proof of concept study. *Restor Neurol Neurosci.* 2018;**36**(6):693-708. doi: 10.3233/RNN-180830. PMID: 30400120; PMCID: PMC6817341.
39. Gandolla M, Guanziroli E, D'Angelo A, Cannaviello G, Molteni F, Pedrocchi A. Automatic Setting Procedure for Exoskeleton-Assisted Overground Gait: Proof of Concept on Stroke Population. *Front Neurobot.* 2018 Mar 19;**12**:10. doi: 10.3389/fnbot.2018.00010. PMID: 29615890; PMCID: PMC5868134.
40. Rojek A, Mika A, Oleksy Ł, Stolarczyk A, Kielnar R. Effects of Exoskeleton Gait Training on Balance, Load Distribution, and Functional Status in Stroke: A Randomized Controlled Trial. *Front Neurol.* 2020 Jan 15;**10**:1344. doi: 10.3389/fneur.2019.01344. PMID: 32010039; PMCID: PMC6974798.
41. Forrester LW, Roy A, Goodman RN, Rietschel J, Barton JE, Krebs HI, Macko RF. Clinical application of a modular ankle robot for stroke rehabilitation. *NeuroRehabilitation.* 2013;**33**(1):85-97. doi: 10.3233/NRE-130931. PMID: 23949045; PMCID: PMC4617677.
42. Park CH, Hwang JS, You JSH. Comparative effectiveness of robot-interactive gait training with and without ankle robotic control in patients with brain damage. *J. Mech. Med. Biol.* 2021;**1**:2140035. doi: 10.1142/S0219519421400352.
43. Krishnan C, Ranganathan R, Kantak SS, Dhaher YY, Rymer WZ. Active robotic training improves locomotor function in a stroke survivor. *J Neuroeng Rehabil.* 2012 Aug 20;**9**:57. doi: 10.1186/1743-0003-9-57. PMID: 22906099; PMCID: PMC3480863.
44. Mao YR, Lo WL, Lin Q, Li L, Xiao X, Raghavan P, Huang DF. The Effect of Body Weight Support Treadmill Training on Gait Recovery, Proximal Lower Limb Motor Pattern, and

Balance in Patients with Subacute Stroke. *Biomed Res Int.* 2015;2015:175719. doi: 10.1155/2015/175719. Epub 2015 Nov 16. PMID: 26649295; PMCID: PMC4663281.

45. Choi W. Effects of Robot-Assisted Gait Training with Body Weight Support on Gait and Balance in Stroke Patients. *Int J Environ Res Public Health.* 2022 May 10;19(10):5814. doi: 10.3390/ijerph19105814. PMID: 35627346; PMCID: PMC9141724.

46. Park C, Oh-Park M, Bialek A, Friel K, Edwards D, You JSH. Abnormal synergistic gait mitigation in acute stroke using an innovative ankle-knee-hip interlimb humanoid robot: a preliminary randomized controlled trial. *Sci Rep.* 2021 Nov 24;11(1):22823. doi: 10.1038/s41598-021-01959-z. PMID: 34819515; PMCID: PMC8613200.

47. Bustamante Valles K, Montes S, Madrigal Mde J, Burciaga A, Martínez ME, Johnson MJ. Technology-assisted stroke rehabilitation in Mexico: a pilot randomized trial comparing traditional therapy to circuit training in a Robot/technology-assisted therapy gym. *J Neuroeng Rehabil.* 2016 Sep 15;13(1):83. doi: 10.1186/s12984-016-0190-1. PMID: 27634471; PMCID: PMC5025604.

48. Read E, Woolsey C, McGibbon CA, O'Connell C. Physiotherapists' Experiences Using the Ekso Bionic Exoskeleton with Patients in a Neurological Rehabilitation Hospital: A Qualitative Study. *Rehabil Res Pract.* 2020 Jan 8;2020:2939573. doi: 10.1155/2020/2939573. PMID: 32395347; PMCID: PMC7199547.

49. Yeung LF, Lau CCY, Lai CWK, Soo YOY, Chan ML, Tong RKY. Effects of wearable ankle robotics for stair and over-ground training on sub-acute stroke: a randomized controlled trial. *J Neuroeng Rehabil.* 2021 Jan 29;18(1):19. doi: 10.1186/s12984-021-00814-6. PMID: 33514393; PMCID: PMC7847008.

50. Yeung LF, Ockenfeld C, Pang MK, Wai HW, Soo OY, Li SW, Tong KY. Randomized controlled trial of robot-assisted gait training with dorsiflexion assistance on chronic stroke patients wearing ankle-foot-orthosis. *J Neuroeng Rehabil.* 2018 Jun 19;15(1):51. doi: 10.1186/s12984-018-0394-7. PMID: 29914523; PMCID: PMC6006663.