



Fakulteta za zdravstvo **Angele Boškin**
Angela Boškin Faculty of Health Care

Diplomsko delo
visokošolskega strokovnega študijskega programa prve stopnje
FIZIOTERAPIJA

**UČINKI ROBOTIKE NA FUNKCIONALNE
SPOSOBNOSTI OTROK S CEREBRALNO
PARALIZO – PREGLED LITERATURE**

**EFFECTS OF ROBOTICS ON FUNCTIONAL
CAPABILITIES OF CHILDREN WITH
CEREBRAL PALSY – A LITERATURE
REVIEW**

Mentorica: dr. Monika Zadnikar, viš. pred.

Kandidatka: Melisa Zelenik

Jesenice, julij, 2025

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorici, dr. Moniki Zadnikar, viš. pred., za vso pomoč, potrpežljivost in napotke v času pisanja in oblikovanja diplomskega dela. Prav tako se zahvaljujem dr. Maji Frangež, pred. za recenzijo diplomskega dela in lektorici, dr. Alenki Čuš, univ. dipl. slov.

Največjo zahvalo namenjam svojim staršema, ki sta mi omogočila študij, ter mi ves čas nudila podporo in dajala vzpodbudo.

POVZETEK

Teoretična izhodišča: Otroci s cerebralno paralizo se pogosto srečujejo z gibalnimi omejitvami, ki pomembno vplivajo na njihovo samostojnost in kakovost življenja. Zaradi vse večje uporabe tehnologije v rehabilitaciji se poraja vprašanje, kako učinkovita je robotsko podprta terapija pri izboljšanju funkcionalnih sposobnosti otrok s cerebralno paralizo. Namen pregleda literature je bil raziskati učinke robotske terapije na funkcionalnost hoje in splošno gibalno sposobnost pri tej populaciji.

Cilj: Cilj diplomskega dela je bil proučiti učinke robotsko podprte terapije na funkcionalnost hoje pri otrocih s cerebralno paralizo.

Metoda: Izveden je bil pregled strokovne in znanstvene literature s kvalitativno deskriptivno analizo in odprtim kodiranjem. Uporabljene so bile podatkovne baze PEDro, PubMed, Wiley in spletni brskalnik Google Scholar. Iskanje je potekalo v slovenskem in angleškem jeziku z naslednjimi ključnimi besedami: "cerebral palsy", "robotic rehabilitation", "robot-assisted gait training", "children", "pediatrics" in Boolovim operatorjem "AND" / "IN" in "OR" / "ALI". Omejitveni kriteriji so bili angleški in slovenski jezik, obdobje od leta 2015 do 2025, celotno prosto dostopno besedilo in vsebinska ustreznost.

Rezultati: Po začetnih 1.597 zadetkih je bilo v pregled vključenih 26 člankov, od tega jih je bilo 11 ustreznih za končno analizo, na podlagi katere je bilo oblikovanih 50 vsebinskih kod, ki so bile združene v dve tematski kategoriji: učinki robotsko podprte terapije na funkcionalnost hoje ter uporabljeni testi in vprašalniki za oceno učinkov.

Razprava: Ugotovitve kažejo, da ima robotsko podprta terapija pozitiven vpliv na hitrost hoje, mišično moč, ravnotežje, samostojnost in kakovost življenja otrok s CP. Klinični učinki so večji, kadar se uporablja kot dopolnilo konvencionalni fizioterapiji. V pregledanih raziskavah so se najpogosteje uporabljali 6-minutni test hoje, 10-metrski test hoje in GMFM za ocenjevanje grobe motorične funkcije.

Ključne besede: nevrorehabilitacija, robotsko-asistirana terapija hoje, robotika v pediatriji, cerebralna paraliza, funkcionalnost hoje

SUMMARY

Theoretical background: Children with cerebral palsy often face motor impairments that significantly affect their independence and quality of life. Due to the increasing use of technology in rehabilitation, questions arise as to how effective robot-assisted therapy is in improving functional abilities in this population. The aim of this literature review was to examine the effects of robotic therapy on gait functionality and overall motor abilities in children with cerebral palsy.

Goals: The objective of this thesis was to investigate the effects of robot-assisted therapy on gait functionality in children with cerebral palsy.

Methods: A review of scientific and professional literature was conducted using qualitative descriptive analysis and open coding. The databases used were PEDro, Google Scholar, PubMed, and Wiley. The search was carried out in both Slovenian and English language, using the following keywords: "cerebral palsy", "robotic rehabilitation", "robot-assisted gait training", "children", "pediatrics", combined with Boolean operators "AND" / "IN" and "OR" / "ALI". The inclusion criteria were English or Slovenian language, publication period between 2015 and 2025, full-text open access, and thematic relevance.

Results: Out of an initial 1,597 results, 26 articles were included in the review and total of 11 studies were included in the final analysis. Based on the analysis, 50 content codes were identified and grouped into two thematic categories: the effects of robot-assisted therapy on gait functionality and the assessment tools and questionnaires used.

Discussion: Findings indicate that robot-assisted therapy has a positive impact on gait speed, muscle strength, balance, independence, and quality of life in children with cerebral palsy. The clinical benefits appear to be greater when robotic therapy is used in combination with conventional physiotherapy. Among the reviewed studies, the most commonly used assessment tools were the 6-Minute Walk Test, the 10-Meter Walk Test, and the Gross Motor Function Measure.

Key words: neurorehabilitation, robot-assisted gait therapy, pediatric robotics, cerebral palsy, gait functionality

KAZALO

1 UVOD	1
1.1 ROBOTIKA	3
1.2 UČINKI ROBOTIKE NA FUNKCIONALNOST HOJE	5
1.3 NORMALNA KINEMATIKA IN KINETIKA HOJE	6
1.3.1 Kinematika	6
1.3.2 Kinetika	7
1.4 PATOLOŠKA HOJA	7
2 EMPIRIČNI DEL	9
2.1 NAMEN IN CILJ RAZISKOVANJA	9
2.2 RAZISKOVALNA VPRAŠANJA	9
2.3 PREDVIDENA RAZISKOVALNA METODOLOGIJA	9
2.3.1 Metoda pregleda literature	9
2.3.2 Strategija pregleda zadetkov	10
2.3.3 Opis obdelave podatkov pregleda literature	10
2.3.4 Ocena kakovosti pregleda literature	11
2.4 REZULTATI	11
2.4.1 PRISMA diagram	12
2.5 RAZPRAVA	23
2.5.1 Omejitve raziskave	29
2.5.2 Doprinos za prakso ter priložnosti za nadaljnje raziskovalno delo	29
3 ZAKLJUČEK	31
4 LITERATURA	33

KAZALO SLIK

Slika 1: PRISMA diagram.....	12
------------------------------	----

KAZALO TABEL

Tabela 1: Rezultati pregleda literature.....	10
Tabela 2: Hierarhija dokazov v znanstveno raziskovalnem delu	11
Tabela 3: Tabelarični prikaz rezultatov	13
Tabela 4: Razpored kod po kategorijah.....	22

SEZNAM KRAJŠAV

CIMT	Constraint-Induced Movement Therapy oz. z omejevanjem gibanja spodbujajoča terapija
COPM	Canadian Occupational Performance Measure oz. kanadska lestvica za oceno delovne uspešnosti
CP	Cerebralna paraliza
CPCHILD	Caregiver Priorities and Child Health Index of Life with Disabilities oz. prednostne naloge skrbnika in indeks zdravja otrok z motnjami
CPIP-UK	Cerebral Palsy Integrated Pathway – United Kingdom oz. celostna pot obravnave CP – Združeno kraljestvo
CŽS	Centralni živčni sistem
EMG	Electromyography oz. elektromiografija
EVGS	Edinburgh Visual Gait Score oz. edinburška vizualna ocena hoje
FAC	Functional Ambulation Category oz. funkcionalna kategorija hoje
FAQ-WL	Functional Assessment Questionnaire – Walking Level oz. funkcionalni vprašalnik – raven hoje
FES	Functional Electrical Stimulation oz. funkcionalna električna stimulacija
GAS	Goal Attainment Scaling oz. lestvica doseganja ciljev
GDI	Gait Deviation Index oz. indeks odstopanja hoje
GMFM	Gross Motor Function Measure oz. ocenjevanje grobe motorične funkcije
GMFM-88	Gross Motor Function Measure – 88 nalog
GMFM-A	GMFM – Dimenzija A (ležanje in obračanje)
GMFM-B	GMFM – Dimenzija B (sedenje)
GMFM-C	GMFM – Dimenzija C (plazenje in klečanje)
GMFM-D	GMFM – Dimenzija D (stanje)
GMFM-E	GMFM – Dimenzija E (hoja, tek, skakanje)
MTS	Modified Tardieu Scale oz. prilagojena Tardieujeva lestvica
NIRS	Near-Infrared Spectroscopy oz. infrardeča spektroskopija
PBS	Pediatric Balance Scale oz. otroška lestvica ravnotežja

PCI	Physiological Cost Index oz. fiziološki indeks porabe energije
QOL	Quality of Life oz. vprašalnik za oceno kakovosti življenja
RAGT	Robotic-Assisted Gait Training oz. robotsko podprto učenje hoje
ROM	Range of Motion oz. obseg gibanja
TUG	Timed Up and Go oz. test vstani in pojdi
WeeFIM	Pediatric Functional Independence Measure oz. otroška lestvica za oceno funkcionalne samostojnosti
6-MWT	Six minute walk test oz. 6-minutni test hoje
10-mWT	Ten meters walk test oz. 10-metrski test hoje

1 UVOD

Cerebralna paraliza (v nadaljevanju CP) je skupek motoričnih motenj, ki izhajajo iz poškodbe možganov, do katere pride pred, med ali po rojstvu. Poškodba možganov vpliva na motorični sistem, zaradi česar ima otrok slabo koordinacijo, slabše ravnotežje, patološke gibalne vzorce ali kombinacijo teh lastnosti. CP je neprogresivna motnja, kar pomeni, da se motnja ali bolezenski proces ne bosta poslabšala sčasoma. Prav tako so motorične motnje povezane s CP. Pri otrocih se lahko pojavi tudi vrsto drugih težav, vključno z medicinskimi težavami, v katere sodijo: epilepsija, duševna zaostalost, učne težave in hiperaktivnost (Miller & Bachrach, 2006).

Kongenitalna CP (ali CP, ki je prisotna že ob rojstvu) je odgovorna za največji delež CP. Pri manjšem odstotku otrok pa so lahko poškodbe, ki nastanejo ali med porodom ali v zgodnjem otroštvu, vzrok za CP (Miller & Bachrach, 2006).

CP je ena izmed pogostejših prirojenih težav: na vsakih 2.000 novorojenčkov jih je pet rojenih s CP. Ta incidenca je ostala nespremenjena vrsto let, kljub napredku v porodničarski in pediatrični oskrbi, vendar se je začela rahlo povečevati v zadnjih letih 20. stoletja v Združenih državah Amerike (ZDA) in drugih industrializiranih državah. Čeprav so izboljšave v medicinski oskrbi zmanjšale incidenco CP pri nekaterih otrocih, ki bi sicer to motnjo razvili, so medicinski napredki omogočili preživetje otrok, ki bi sicer umrli v mladosti in mnogi od teh otrok preživijo z okvaro ali invalidnostjo. Tudi oblika CP, ki je najbolj prisotna v razvitem zahodnem svetu, se je spremenila. V šestdesetih letih prejšnjega stoletja je v ZDA imelo 20 odstotkov vseh otrok s CP atetoidno CP, vrsto CP, ki jo povzroča hiperbilirubinemija in se kaže v počasnih, nehotenih gibih. Danes ima to vrsto le 5–10 odstotkov otrok, 80 do 90 odstotkov pa jih ima spastično obliko CP. Zmanjšanje tega števila je predvsem posledica napredka pri zdravljenju hiperbilirubinemije. Hkrati pa je spastična oblika CP tista, ki jo zaznamuje zvišan mišični tonus, kar povzroča otrdelost in omejene gibe, postala bolj prisotna, ker je intenzivna zdravniška oskrba novorojenčkov privedla do višjih stopenj preživetja pri prezgodaj rojenih otrocih. Ti otroci imajo visoko tveganje za razvoj spastične oblike CP. 5–8

odstotkov prezgodaj rojenih dojenčkov, ki tehtajo manj kot 1.500 gramov in preživijo, ima CP (Miller & Bachrach, 2006).

CP se razvršča glede na vrsto gibalne motnje in glede na prizadetost dela telesa (spastična, atetoidna, hipotonična ali mešana). Gibalne sposobnosti, prizadetost in koordinacija se med otroci s CP zelo razlikujejo, zato le malo simptomov velja za vse otroke s diagnozo CP. Spastičnost pomeni nezmožnost sprostitve mišic, medtem ko atetozna pomeni nezmožnost nadzora nad njihovim gibanjem. Dojenčki, ki so sprva hipotonični ali zelo mlahavi, lahko kasneje razvijejo spastičnost. Hemiplegija je oblika CP, ki prizadene eno roko in eno nogo na isti strani telesa, medtem ko diplegija v prvi vrsti prizadene obe nogi. Kvadruplegija pomeni prizadetost vseh štirih udov ter mišic trupa in vratu. Otroci s kvadruplegijo praviloma ne hodijo samostojno. Pogosto uporabljena klasifikacija je tudi ataksija, ki se nanaša na težave z ravnotežjem in koordinacijo (Miller & Bachrach, 2006).

Motorična in senzorična izguba ali disfunkcija, ki jo povzročijo poškodbe možganov ali nevrološke motnje, močno vpliva na kakovost življenja in lahko vodi do nezmožnosti opravljanja preprostih vsakodnevnih aktivnosti. Žal so takšne senzomotorične okvare zelo pogoste pri nevroloških pacientih (Iandolo, et al., 2019).

Hitro okrevanje primanjkljajev po poškodbah centralnega živčnega sistema (CŽS) in doseganje življenjskega stanja, ki je čim bližje predmorbidnemu stanju, sta med glavnimi, delno neizpolnjenimi cilji nevrorehabilitacije. Presenetljivo je, da obstaja veliko terapevtskih pristopov za obnovitev izgubljenih funkcij, vendar jih malo temelji na kliničnih dokazih o učinkovitosti. Zato raziskovalci trenutno razvijajo terapije, ki so čim tesneje povezane z nevrofiziološkimi načeli iz osnovnih znanosti. V zadnjih desetletjih je bilo predlaganih veliko pristopov, ki temeljijo na nevrofiziologiji motoričnega sistema (npr. Kabat, Bobath, Brunnstrom, Vojta idr.) za motorično rehabilitacijo. Nedavno so inovativni terapevtski pristopi znatno razširili nabor razpoložljivih terapevtskih in rehabilitacijskih strategij. Naraščajoče število dokazov podpira učinkovitost tehnološko podprtih pristopov, ki izboljšujejo mehanizme fiziološkega okrevanja, vključene v produkcijo hotenih gibov po možganski leziji. Med najbolj natančno preučene pristope z

uporabo naprav sodijo: elektromiografski (EMG) biofeedback, robotsko podprta terapija, intervencije na osnovi virtualne resničnosti (VR), z omejevanjem gibanja spodbujajoča terapija (CIMT) in funkcionalna električna stimulacija (FES) (Turolla, 2018).

1.1 ROBOTIKA

V zadnjih desetletjih so bile razvite inovativne robotske tehnologije, ki učinkovito pomagajo klinikom pri procesu nevrorehabilitacije. Izraz „robotska tehnologija“ v tem kontekstu označuje katero koli mehatronično napravo z določeno stopnjo inteligence, ki lahko fizično vpliva na pacientovo vedenje, ter optimizira in pospeši njegovo senzomotorično okrevanje (Iandolo, et al., 2019). Rehabilitacija s pomočjo robotov je oblika fizikalne ali delovne terapije, ki uporablja robotsko napravo za učenje ali ponovno učenje uda in možganov, kako premikati okvarjen ud v primeru pridobljene nevrološke bolezni, kot je kap, poškodba glave ali razvojne motorične bolezni, kot je CP. Klinična ocena rehabilitacijskih naprav je zagotovila močne dokaze, da lahko roboti obnovijo, celo izboljšajo funkcionalne sposobnosti, ki jih dosegajo terapevti, pri primerljivih stroških (Michmizos & Krebs, 2017). Dve ključni sposobnosti teh robotov sta: (1) ocenjevanje človekove senzomotorične funkcije in (2) ponovna vadba možganov in telesa za izboljšanje pacientove kakovosti življenja (Iandolo, et al., 2019).

Večina rehabilitacijskih naprav običajno izvaja pasivno modaliteto treninga (robot je voden, prav tako je vodena strategija nadzora položaja udov), kjer robot vsiljuje pot gibanja, in aktivno modaliteto treninga (pacient je voden), kjer robot prilagodi svojo pot glede na oceno pacientove sposobnosti in želje po gibanju. Pa vendar je med vsemi različnimi modalitetami treninga najbolj pomembna asistirana vadba. Asistirani krmilniki pomagajo udeležencem, da premikajo prizadete ude v skladu z želenimi položaji med prijemanjem, doseganjem ali hojo, kar odraža strategijo, ki jo uporablja tradicionalna fizioterapija in delovna terapija (Iandolo, et al., 2019).

Robotske naprave za nevrorehabilitacijo lahko razvrstimo v dve glavni kategoriji glede na različne vrste fizične interakcije med pacientom in robotom: naprave z end-efektorjem

in eksoskeleti. Sistemi, ki temeljijo na end-efektorjih, so robotske naprave, opremljene s specifičnim vmesnikom, ki mehansko omeji distalni del človeškega uda (npr. zapestje). Ti sistemi ne nadzorujejo celotne kinematične verige, saj se lahko človeški ud popolnoma prilagodi bodisi zunanjim motnjam bodisi gibanju, ki ga izvaja robot z end-efektorjem. Pri tej vrsti naprave je mogoče neposredno nadzorovati le distalni del telesa, ki je pritrjen na end-efektor; dodatne informacije o silah in/ali položajih preostalih delov udov pa se lahko pridobijo posredno. Eksoskeleti natančno ponavljajo kinematiko človeškega uda in podpirajo njeno gibanje skozi nadzor položaja in orientacije vsakega sklepa. Naprave so zasnovane z namenom, da povežejo in poravnajo mehanske sklepe s človekovimi sklepi. Poleg tega je obseg gibanja in število aktiviranih sklepov ustrezno izbrano za optimizacijo nadzora, zato so gibi pacienta pri uporabi eksoskeleta bolj nadzorovani, vendar na račun večje kompleksnosti pri nadzoru stopenj prostosti gibanja (Iandolo, et al., 2019).

Razviti so bili različni robotski sistemi za zgornji ud, pri čemer so bili predlagani protokoli, ki temeljijo na usmerjenih ponavljajočih se gibih, tj. za izboljšanje obsega gibanja, mišične moči, koordinacije gibanja in spodbujanje motoričnega učenja (Iandolo, et al., 2019).

Tako kot pri zgornjem udu, lahko robotske naprave za rehabilitacijo spodnjega uda razlikujemo glede na mehansko zasnovo, mehanizem aktivacije, število stopenj prostosti in mehanizem nadzora. Roboti z end-efektorjem so razvrščeni v »naprave na osnovi plošče za stopala«, kot so na primer Gait trainer, Haptic walker in G-EO systems, kjer so pacientove noge trdno pritrjene na platforme, ki so sposobne stimulirati različne cikle hoje, ter v »naprave na osnovi platforme«, kot je Hunova in Rutgers ankle naprava. Ti roboti se odlikujejo po fiksni platformi, ki ne simulira vzorca hoje, temveč uporablja nadzorovano gibanje sklepov, pri čemer se posebej osredotoča na gleženj. Na drugi strani pa so eksoskeleti razvrščeni v »naprave na osnovi tekalne steze«, kot so Lokomat, LokoHelp, LOPES in ALEX, ter naprave, ki omogočajo »hojo na prostem«, kot so Ekso, HAL, Rewalk in Indego Therapy (Iandolo, et al., 2019).

Osnova za robotizirano nevrorehabilitacijo temelji na relativno nedavnih znanstvenih dokazih o nevroznanosti, da fizična vadba in še posebej gibanja, povezana z dejavnostmi, spodbujajo funkcionalno okrevanje celo po travmatskih poškodbah centralnega živčnega sistema (CŽS), pri čemer imajo pomembne pozitivne učinke na proces nevrogeneze in pospešujejo osnovne mehanizme, povezane z nevroplastičnostjo. V tem kontekstu lahko robotizirane naprave za motorično terapijo igrajo temeljno vlogo v rehabilitaciji in spodbujajo okrevanje možganskih področij, namenjenih visokokakovostnemu motoričnemu nadzoru tako, da podpirajo in vodijo posameznike pri izvajanju motoričnih nalog, pri čemer v celoti izkoristijo njihove preostale senzomotorične koordinacijske sposobnosti. Pacient igra ključno vlogo v robotizirani terapiji že od začetne faze oblikovanja tovrstnih sistemov. Oblikovanje rehabilitacijskih robotov mora ustrezati potrebam pacientom, se prilagoditi človeškemu delovanju ter zagotavljati varnost, robustnost, zanesljivost, udobje in svobodo gibanja, hkrati pa si prizadevati za učinkovitost zdravljenja (Simonetti, et al., 2018).

1.2 UČINKI ROBOTIKE NA FUNKCIONALNOST HOJE

Učinki robotiziranega treninga so precej različni, saj segajo od izboljšanja hitrosti hoje in vzdržljivosti do napredka v testih hoje. Nekatere koristi so povezane s spremembami v značilnostih hoje, kot so boljša kakovost hoje ali boljši nadzor prostovoljnih gibov spodnjih udov. Poleg izboljšav v hoji so poročali tudi o pozitivnih vplivih na zmanjšanje abnormalne refleksne dejavnosti, povečanje dihalnih volumnov in boljše delovanje kardiovaskularnega sistema (Dietz, 2012).

Učinki terapije z napravami eksoskeleti na funkcijo hoje so še vedno predmet raziskav. Robotska naprava z imenom HAL (Hybrid, Assistive Limb) je pokazala pomembne izboljšave v hitrosti hoje, kadenci, ravnotežju in uspešnosti na TUG testu pri pacientih s kapjo ali poškodbo hrbtenjače, bil je uspešen tudi pri hemiparetičnih pacientih. Vadba z napravami Ekso je izboljšala gibljivost in porabo energije pri pacientih s poškodbo hrbtenjače. Uporaba naprav Eksoskelet je prav tako prinesla sekundarne učinke, kot so izboljšano delovanje mehurja in črevesja, zmanjšana spastičnost in zmanjšanje kronične

bolečine (Moreno, et al., 2018). Čeprav se robotsko podprto rehabilitacijo hoje predstavlja kot obetavni pristop rehabilitacije, so funkcionalni dosežki, pridobljeni po tovrstni vadbi, še vedno omejeni. Na splošno so bili najboljši rezultati opaženi pri osebah s težjo obliko invalidnosti, kadar je bila robotska vadba kombinirana s konvencionalno terapijo (Marchal-Crespo & Riener, 2018).

1.3 NORMALNA KINEMATIKA IN KINETIKA HOJE

Hoja je dinamična aktivnost, ki jo razumemo s pomočjo dinamike – vede, ki preučuje gibanje teles in nanj vplivajoče se sile, maso, količino gibanja in energijo. Dinamiko razdelimo na kinematiko, ki opisuje gibanje brez upoštevanja vzrokov in kinetiko, ki se ukvarja z vplivom sil in momentov na gibanje teles (Schwartz, 2004).

1.3.1 Kinematika

Normalna kinematika hoje obravnava tipične vzorce gibanja pri osebah brez ortopedskih ali nevroloških okvar. Hojo razdelimo na sedem faz, te so naslednje: začetni stik, faza obremenitve, srednja opora, končna opora, predzamah, začetek zamaha in končni zamah, kar omogoča razumevanje vloge mišic, sil in težišča. Čeprav obstajajo normativni diagrami sklepnih kotov za posamezne faze, mora vsak laboratorij določiti svoje referenčne krivulje na podlagi lastne opreme in metod (Schwartz, 2004).

Pri gležnju se gibanje dogaja predvsem v sagitalni ravnini. Ob začetnem kontaktu je prisotna rahla plantarna fleksija 5° , ki preide v dorsifleksijo do $10\text{--}15^\circ$ v srednji opori in nato v plantarno fleksijo do 25° med odzivom. V zamahu gleženj dorsiflektira v nevtralni položaj in se nato rahlo plantarnoflektira. Gibanja v frontalni in transverzalni ravnini so manjša in pogosto nezanesljivo izmerjena (Schwartz, 2004).

Koleno je ob začetnem kontaktu rahlo pokrčeno (10°), v fazi obremenitve se upogne do 20° , nato iztegne v srednji opori do 5° , v zamahu pa doseže do 60° fleksije. V frontalni ravnini je gibanje minimalno, v transverzalni pa pod 10° (Schwartz, 2004).

Kolk je ob začetku hoje v približno 35° fleksije, nato preide v ekstenzijo do 10° v končni zamah in ponovno v fleksijo do 35° v zamahu. V frontalni ravnini se pojavljajo manjše spremembe zaradi nagiba medenice. V transverzalni ravnini so rotacije manjše od 10° (Schwartz, 2004).

Medenica se giblje v vseh treh ravninah – v sagitalni za približno 5°, v frontalni med fazo obremenitve rahlo pade; nato se vrne v nevtralni položaj, v transverzalni ravnini pa kaže ciklične rotacije do 5°, ki so pomembne za klinično vrednotenje (Schwartz, 2004).

1.3.2 Kinetika

Gleženj med hojo deluje prek treh »rockerjev« (npr. *heel rocker*, *ankle rocker*): najprej ekscentrično deluje tibialis anterior, nato soleus upočasni dorsifleksijo, ob odzivu pa plantarni fleksorji koncentrično generirajo potisk. Ti momenti so rezultat usklajenega delovanja mišic in talne reakcijske sile (Davis & Ounpuu, 2004).

Kolčni sklep v začetku hoje ustvarja ekstenzorski moment, ki omogoči iztegovanje kolka in dvig težišča. V predzamahu fleksorji ustvarijo moč za zamah, ekstenzorji pa ga kasneje upočasnijo (Davis & Ounpuu, 2004).

Koleno absorbira sile ob pristanku z ekscentričnim delovanjem, nato ostane stabilno, v zamahu pa fleksija doseže 60°, ki se potem pod nadzorom fleksorskega momenta zmanjša. V frontalni ravnini kolk izraža abdukcijski moment, ki nadzoruje padec medenice. Kolenski sklep ima majhne frontalne in transverzalne momente, saj je gibanje v teh ravninah omejeno, zato je prispevek k moči majhen (Davis & Ounpuu, 2004).

1.4 PATOLOŠKA HOJA

Patološka hoja vključuje primarne, sekundarne in terciarne nepravilnosti. Primarne (npr. spastičnost, izguba selektivnosti) so neposredno posledica okvare živčevja, sekundarne

(npr. kontrakture, deformacije kosti) so posledica nenormalnih sil med rastjo, terciarne (kompenzacije) pa so prilagoditve, ki sčasoma lahko izzvenijo (Gage & Schwartz, 2004).

Pri otrocih s CP so najpogostejši vzroki za patološko hojo oslABLJENA kontrola ravnotežja, nenormalen mišični tonus in slaba selektivnost gibanja. Posledično prihaja do neučinkovite hoje, povečane energetske porabe in večjih mehanskih obremenitev. Sekundarne spremembe vključujejo mišične kontrakture in kostne deformacije zaradi spastičnosti in zmanjšane aktivnosti, medtem ko se terciarne nepravilnosti pojavijo kot funkcionalni kompenzacijski odziv, ki pogosto izgine, ko se odpravi vzrok nastanka. Na primer, otrok s hemiplegijo in spastičnostjo mišice rectus femoris na prizadeti strani lahko ima velike težave pri upogibanju prizadetega kolena in posledično med fazo zamaha nogo vleče za seboj. Otrok se lahko s to težavo spopade na več načinov: z dvigovanjem pete na zdravi strani, cirkumdukcijo prizadete noge v fazi zamaha ali s pretiranim upogibanjem kolka na prizadeti strani. Čeprav eden ali vsi ti mehanizmi lahko rešijo težavo, so to hkrati odstopanja od normalne hoje in običajno povzročajo večjo porabo energije pri hoji. Te "mehanizme prilagajanja" imenujemo terciarni učinki poškodbe možganov (Gage & Schwartz, 2004).

Kljub napredku na področju rehabilitacije otrok s CP ostaja iskanje učinkovitih terapevtskih pristopov ključen izziv za fizioterapevte. V zadnjih desetletjih se vse bolj uveljavlja uporaba robotike v rehabilitacijske namene, vendar so učinki tovrstnih tehnologij na motorične in funkcionalne sposobnosti otrok s CP predmet raziskav še danes. Dosedanje raziskave kažejo, da tovrstna terapija še vedno služi samo kot pripomoček fizioterapevtu in ne kot terapija sama, vendar se že pojavljajo roboti, ki bi lahko celotno terapijo izpeljali sami. Terapija z uporabo robotske tehnologije ima pozitivne učinke na gibanje, hojo, obseg gibanja, mišično in kardiovaskularno vzdržljivost in moč, zato smo v diplomskem delu predstavili te učinke tako fizioterapevtski kot tudi splošni javnosti.

2 EMPIRIČNI DEL

V diplomskem delu smo izvedli pregled literature v slovenskem in angleškem jeziku.

2.1 NAMEN IN CILJ RAZISKOVANJA

Namen diplomskega dela je bil raziskati in razumeti posamezne učinke robotike na funkcionalne sposobnosti otrok s cerebralno paralizo.

Cilj diplomskega dela je bil raziskati učinke robotsko podprte terapije na funkcionalne sposobnosti otrok s cerebralno paralizo.

2.2 RAZISKOVALNA VPRAŠANJA

1. Kako robotsko podprta terapija vpliva na izboljšanje funkcionalnih sposobnosti (hoja, ravnotežje, groba motorika) pri otrocih s cerebralno paralizo?

2.3 PREDVIDENA RAZISKOVALNA METODOLOGIJA

V diplomskem delu smo izvedli pregled literature.

2.3.1 Metoda pregleda literature

V pregledu strokovne in znanstvene literature smo uporabili baze podatkov Wiley, ProQuest, PEDro in Google Scholar (do 50 naslovov). Za lažji nabor literature smo iskali s pomočjo ključnih besed v angleškem jeziku: »cerebral palsy«, »children«, »pediatrics«, »robotic rehabilitation«, »robot-assisted gait therapy«, ter v slovenskem jeziku: »cerebralna paraliza«, »otroci«, »pediatrija«, »robotska terapija«, »robotsko asistirana terapija hoje«. Uporabili bomo Boolov operator »AND« oz. »IN« in »OR« oz. »ALI«. Pri iskanju v bazah podatkov bomo upoštevali naslednje omejitvene kriterije: članki v angleškem in slovenskem jeziku, raziskovalni članki, pregledni članki, obdobje od leta 2015 do 2025, celotno prosto dostopno besedilo člankov in vsebinska ustreznost.

Analizirali bomo klinične raziskave, s katerimi bomo ugotavljali učinke robotike na CP. V diplomski nalogi smo uporabili tudi dve starejši literaturi (2004 in 2006), saj vsebujeta relevantno in primerno vsebino, ki je ustrezno dopolnjevala izbrano temo.

2.3.2 Strategija pregleda zadetkov

Zadetke smo pregledali in jih shematsko prikazali s PRISMA diagramom (Page, et al., 2021). Prav tako smo rezultate prikazali na tabelarni način, v katerem smo navedli število zadetkov glede na ključno besedo za posamezno podatkovno bazo ter koliko zadetkov smo pregledali v polnem besedilu, kar prikazuje tabela 1.

Tabela 1: Rezultati pregleda literature

Podatkovna baza	Ključne besede	Število zadetkov	Izbrani zadetki za pregled v polnem besedilu	Izbrani zadetki za končno analizo po pregledu v polnem besedilu
PeDro	"robotic-assisted gait training" AND "cerebral palsy"	7	1	1
Google Scholar	"robotic-assisted gait training OR rehabilitation" AND "cerebral palsy"	937 (do 50 naslova)	11	8
	"robotic rehabilitation" AND "cerebral palsy" AND "pediatrics"	371 (do 50 naslova)	6	1
PubMed	"robotic-assisted gait training OR rehabilitation" AND "cerebral palsy"	260	4	0
Wiley	"robotic-assisted gait training" AND "cerebral palsy"	21	3	0
	"robotic rehabilitation" AND "cerebral palsy" AND "pediatrics"	1	1	1
SKUPAJ		1.597	26	11

2.3.3 Opis obdelave podatkov pregleda literature

S ključnimi besedami smo pridobljene vire analizirali in opisali po kvalitativni deskriptivni metodi (Kordeš & Smrdu, 2015). Osredotočili smo se na vire, katerih

besedilo je objavljeno v polnem obsegu in se je smiselno povezovalo z izbrano temo. Prvo branje smo izvedli glede na ustrezen naslov in datum izdaje raziskave. V naslednjih korakih smo literaturo natančno prebrali in izbrali ključne podatke, ki so ustrezali zastavljenemu cilju in raziskovalnemu vprašanju diplomskega dela. Izbrani vsebini smo v procesu odprtega kodiranja dodali 50 kod podobnega pomena in jih kategorizirali v dve kategoriji:

- K1: učinki robotsko podprte terapije na funkcionalnost hoje pri otrocih s CP;
- K2: testi, lestvice in vprašalniki, s katerimi se meri napredek in kakovost terapij.

2.3.4 Ocena kakovosti pregleda literature

Kakovost pregleda literature smo preverjali glede na vsebinsko ustreznost in dostopnost po hierarhiji dokazov Polit in Beck (2021), ki sta jo razdelila na osem nivojev. V končno analizo smo uvrstili enajst virov, ki smo jih razvrstili: nivo 1 vsebuje 1 sistematični pregled dokazov, nivo 2 vsebuje 6 dokazov kliničnih vzročnih randomiziranih raziskav, nivo 3 zajema 4 nerandomizirane klinične raziskave. V nivojih 4, 5, 6, 7 in 8 pa nismo uvrstili nobenega vira (tabela 2).

Tabela 2: Hierarhija dokazov v znanstveno raziskovalnem delu

Nivo	Hierarhija dokazov	Število vključenih virov
NIVO 1	Sistematični pregled in metaanalize randomiziranih kliničnih raziskav	1
NIVO 2	Posamezne randomizirane klinične raziskave	6
NIVO 3	Nerandomizirane klinične raziskave (kvazi eksperimenti)	4
NIVO 4	Sistematični pregledi neeksperimentalnih (opaznih) raziskav	0
NIVO 5	Neeskperimentalne/opazovalne raziskave	0
NIVO 6	Sistematični pregledi/metasintezne kvalitativne raziskave	0
NIVO 7	Kvalitativne/opisne raziskave	0
NIVO 8	Neraziskovalni viri (mnenja)	0

(Polit & Beck, 2021)

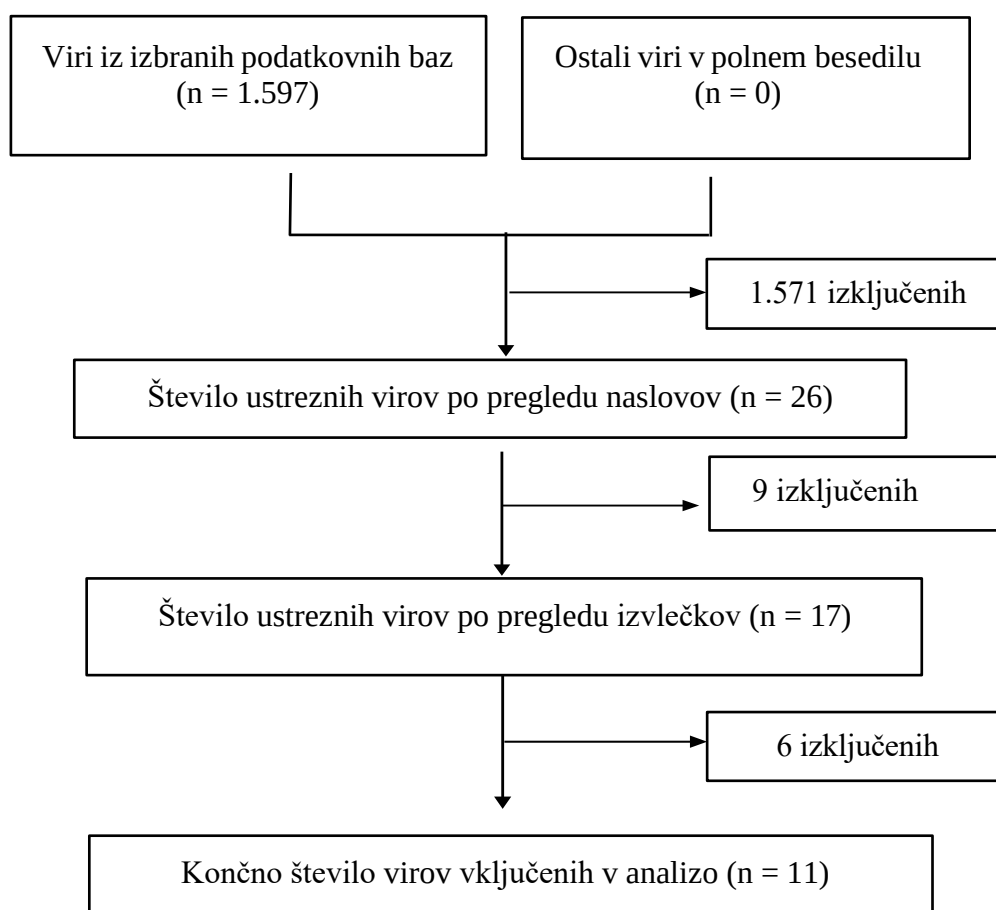
2.4 REZULTATI

Rezultate predstavljamo vsebinsko in shematsko. Shematsko je prikazano pridobivanje končnega števila virov s pomočjo PRISMA diagrama (Page, et al., 2021) (slika 1). V

tabeli 3 so predstavljena ključna spoznanja in glavne značilnosti pregleda literature. V tabeli 4 pa sta predstavljeni dve kategoriji s 50 kodami.

2.4.1 PRISMA diagram

Potek pridobivanja ustreznih znanstvenih virov je prikazan s PRISMA diagramom (Page, et al., 2021) v sliki 1, ki so bili primerni za končno analizo. Z upoštevanjem ključnih besed in besednih zvez smo našli skupno 1.597 raziskovalnih člankov. Na podlagi omejitvenih kriterijev smo jih izključili 1.571. Za nadaljnjo analizo nam je ostalo 26 znanstvenih virov, kjer smo pri pregledu povzetkov izločili še nadaljnjih devet virov. Ostalo nam je še 17 virov, ki so bili primerni za natančno analizo, ki smo jih pregledali in analizirali ter v končno analizo vključili 11 virov.



Slika 1: Prikaz rezultatov v PRISMA diagramu
(Page, et al., 2021)

V tabeli 3 so predstavljena ključna spoznanja avtorjev, ki smo jih izbrali za končni pregled. Navedeni so avtor, leto objave raziskave, uporabljena metodologija, vzorec in ključna spoznanja, do katerih so prišli v času raziskovanja.

Tabela 3: Tabelarični prikaz rezultatov

Avtor in leto objave	Uporabljena metodologija	Vzorec (velikost in država)	Ključna spoznanja
Cortés-Pérez, et al., 2022	Sistematični pregled z metaanalizo randomiziranih kliničnih raziskav	15 randomiziranih raziskav 413 otrok s CP, razvrščeni v stopnje I–V po GMFCS lestvici Povprečna starost: $10,33 \pm 4,1$ leta 2-mesečni program 2 skupini: 1. Eksperimentalna skupina z RAGT in konvencionalno terapijo 2. Kontrolna skupina s konvencionalno terapijo (KT) ali terapijo na tekaški stezi (TT) Konvencionalna terapija je vključevala: individualne vaje, vadbo na tekočem traku, vadbo na antigravitacijski stezi in pasivne terapevtske pristope Španija	Ugotovitve metaanalize so pokazale: da je RAGT učinkovitejša od KT pri izboljšanju hitrosti hoje, razdalje hoje ter sposobnosti hoje, teka in skakanja (GMFM-D) že takoj po končani terapiji. RAGT se zdi superiorna terapiji na tekaški stezi (TT) le pri izboljšanju dolžine koraka ob dvo-mesečnem spremljanju pri ostalih parametrih, kot so korak, širina koraka, frekvenca, GMFM-D in funkcionalna neodvisnost, ni bilo statistično značilnih razlik med RAGT in KT ali RAGT in TT.
De Luca, et al., 2022	Prospektivna enosmerna pred- in postraziskava	10 otrok z ataksično spastično CP Starost 6–12 let 3-mesečni program, 2x teden po 45 min Ena skupina: - meritve in pred in po terapijah - Lokomat v kombinaciji s	Po končanem 3-mesečnem protokolu so rezultati raziskave pokazali: - otroci so dosegli povprečno 12,4 točk več v skupnem rezultatu pri testu GMFM-88: - dimenzija A se je izboljšala za 6,2 %, dimenzija B za 8,7 % ($p = 0,028$),

Avtor in leto objave	Uporabljena metodologija	Vzorec (velikost in država)	Ključna spoznanja
		kovencionalno fizioterapijo in delovno terapijo - terapije po Kabatovi metodi, ki spodbujajo vzravnavo telesa in ravnotežje otrok, ter Bobathove metode, osredotočene na nadzor glave, prevale in pripravo na sedenje – vprašalnik CP QOL Italija	dimenzija C za 7,9 % ($p = 0,035$), dimenzija D za 9,4 % ($p = 0,018$) dimenzija E za 11,3 % ($p = 0,021$), starši so poročali o 15,2 % izboljšani kakovosti življenja otoka s CP ($p < 0.005$); pri vprašalniku CP QOL se je število točk povprečno zvišalo iz 40 na 52,1, pri čemer je učinek statistično značilen ($ES = 1,14$). Otroci so po terapiji poročali o večji samostojnosti pri vstajanju, hoji in prehodu med položaji, hkrati pa so bili manj utrujeni in bolj samozavestni pri hoji na daljše razdalje.
Gordon, et al., 2023	Aprospective single-arm, pre–post trial Prospektivna enosmerna pred- in postraziskava	27 otrok s CP, razvrščeni v stopnje IV–V po GMFCS lestvici Starost 5–18 let 6 tedenski program, 4x na teden po 30 minut Ena skupina: - meritve in pred in po terapijah - uporaba robota Innowalk Pro - z dodano konvencionalno fizioterapijo: 3x tedensko statična stoja z oporo ali hoduljo, 1x tedensko športna vzgoja, ter fizioterapevtski program, ki vključuje	Otroci s težjo obliko CP so po štirih tednih redne uporabe Innowalk Pro pokazali boljše rezultate pri vsakodnevnem življenju in kakovosti življenja, ter so v večini dosegli zastavljene funkcionalne cilje. Rezultati raziskave: po CPCHILD vprašalniku se je povprečni rezultat povečal iz 60,4 na 63,5 takoj po uporabi Innowalka, po 6 tednih pa na 66,0; 9 od 25 otrok je doseglo izboljšanje, ki je bilo statistično značilno,

Avtor in leto objave	Uporabljena metodologija	Vzorec (velikost in država)	Ključna spoznanja
		nabor funkcionalnih dejavnosti, odvisnih od zmožnosti posameznika. - CPCHILD vprašalnik - GAS lestvica - ROM Velika Britanija	po GAS lestvici je 22 od 25 otrok po programu ali izpolnilo ali preseglo zastavljene cilje, a so se ti učinki po prekinitvi znižali proti izhodišču (0 točk), pri merjenju ROM so opazili majhne izboljšave v gibanju kolka in kolena, a so bile kratkotrajne in so se po 3 mesecih vrstile blizu začetnim vrednostim, nekoliko manjša napetost mečnih mišic po intervenciji, vendar brez trajne spremembe.
Jin, et al., 2020	Randomizirana navzkrižno slepa raziskava	20 otrok s CP, razvrščeni v stopnje II–IV po GMFCS lestvici Povprečna starost 6,75 let 1. skupina: 12-tedenski program 2. skupina: 18-tedenski program Dve skupini: 1. skupina, kjer so začeli z RAGT in zaključili s konvencionalno terapijo (KT): RAGT/KT 2. skupina, kjer so najprej začeli s KT, nadaljevali z RAGT in zaključili s KT: KT/RAGT/KT Konvencionalna terapija je vključevala: vadbo hoje, terapijo za znižanje mišičnega tonusa ter vaje za ravnotežje in krepitev	Ugotavljali so učinkovitost RAGT v primerjavi s KT. RAGT so izvajali z napravo Walkbot-K, ki je izboljšala: GMFM dimenzijo D (aktivnosti stoje), in dimenzijo E (hojo, tek in skakanje), pomemben učinek zdravljenja glede na delno oceno mobilnosti na lestvici samostojnosti WeeFIM izvajanje in zadovoljstvo pri vsakodnevnih nalogah (COPM), zmanjšala se je poraba energije pri hoji, povečala se je skeletna mišična masa, hitrost hoje se je po RAGT povečala, vendar to povečanje ni bilo statistično značilno.

Avtor in leto objave	Uporabljena metodologija	Vzorec (velikost in država)	Ključna spoznanja
		mišic, 2–4 krat na teden. Južna Koreja	Največje izboljšave so bile vidne pri otrocih razvrščenih v GMFCS II–III. Učinki so bili boljši v RS skupini RAGT kot v skupini SRS med konvencionalno fizioterapijo.
Kim, et al., 2021	Pilotna nerandomizirana klinična raziskava	3 otroci z bilateralno spastično diplegijo CP, razvrščeni v stopnje II–IV po GMFCS lestvici Starosti: 9 let (Pacient 1 – P1), 13 let (Pacient 2), in 16 let (Pacient 3) 17–20 sej, 1–3 seje na teden po 60 minut izvajali: - meritve in pred in po terapijah - z robotom AiWalker-K Južna Koreja	Pri vseh treh udeležencih je uporaba RAGT z AiWalker-K vodila do izrazitih izboljšav v hoji (razdalja, hitrost, kadenca). Rezultati raziskave: 6MWT se je pri P1 izboljšal za +53,5 m (63,4 %), pri P2 pa za kar +140,2 m (580,6 %) GMFM test se je izboljšal pri dimenziji D za 2,74 točk in E za 3,63 točk, prav tako sta P1 in P2 dosegla boljši rezultat na PBS lestvici kot na začetku P3 ni bil sposoben samostojne hoje pred terapijo, po RAGT je lahko samostojno hodil z recipročno hoduljo.
Manikowska, et al., 2021	Prospektivna raziskava (pre-po)	26 otrok, z bilateralno spastično CP, razvrščeni v stopnje I–IV po GMFCS lestvici Starost 12–18 let 10 tedenski program, 30 sej, 3x na teden po 30–60 min Ena skupina: - meritve pred in po terapijah	Rezultati raziskave: časovno prostorski parametri so ostali statistično nespremenjeni tako takoj po terapiji kot tudi po šestih tednih brez vadbe, simetrija dvojne opore se je statistično pomembno izboljšala med začetno meritvijo in meritvijo po šestih tednih ($p = 0,03$), kar kaže na bolj uravnotežen

Avtor in leto objave	Uporabljena metodologija	Vzorec (velikost in država)	Ključna spoznanja
		- z robotom exoskeleton EksoGT Poljska	prenos obremenitev med nogama, pri otrocih, ki so za hojo uporabljali pripomočke (npr. hoduljo), se je simetrija hitrosti hoje prav tako statistično izboljšala ($p = 0,02$), kar nakazuje na usklajene korake ne glede na uporabo pripomočkov, GDI, ki meri splošno kakovost hoje, ni pokazal statistično pomembnih sprememb v nobeni od treh meritev, kar pomeni, da je kljub izboljšani simetriji osnovni vzorec hoje ostal enak.
Pool, et al., 2020	Randomizirana kontrolna raziskava	40 otrok s CP, razvrščeni v stopnje III, IV in V po GMFCS lestvici Starost 5–12 let 6 tedenski program; 3x na teden po 60 minut Razdeljenih v dve skupini: 1. Eksperimentalna skupina (RAGT in vadba za izboljšanje gibanja) 2. Kontrolna skupina (samo vadba za izboljšanje gibanja) Avstralija	Raziskovali so, ali ima RAGT večji učinek kot trening gibanja. Ugotovili so, da dodatek RAGT ni imel pomembnega učinka v primerjavi s treningom gibanja samim. Rezultati raziskave: obe skupini sta pokazali izboljšave v funkcionalni mobilnosti (GAS, COPM, GMFM), vendar brez statistično pomembnih razlik med skupinama, visoka udeležba, brez neželenih učinkov kaže na izvedljivost intenzivnega programa pri otrocih z GMFCS III–V, ohranjanje telesne dejavnosti, četudi zgolj za večjo funkcionalno samostojnost pri

Avtor in leto objave	Uporabljena metodologija	Vzorec (velikost in država)	Ključna spoznanja
			uporabi trenažerjev za hojo doma ali v šoli, predstavlja alternativo dolgotrajno sedečemu načinu življenja. Priporočena nadaljnja raziskovanja učinkov robotske vadbe na zdravje in kakovost življenja pri otrocih s CP.
Wallard, et al., 2017	Randomizirana kontrolirana klinična raziskava	30 otrok s spastično diplegijo zaradi CP, vzorec hoje s poskakujočim kolenom. Starost 8–10 let 4 tedenski program; 20 sej, 5x na teden po 40 minut Dve skupini: 1. Eksperimentalna skupina (20 RAGT terapij z Lokomatom) 2. Kontrolna skupina (1e konvencionalna fizioterapija) Francija	Raziskava kaže spremembe v posturalnih in gibalnih funkcijah, ki vodijo v reorganizacijo celotne telesne kinematike. Robotsko asistirana vadba hoje (RAGT) je pomembno izboljšala dinamično ravnotežje, posturalni nadzor in kinematiko gibanja celega telesa pri otrocih s CP. Rezultati so pokazali: boljša stabilizacija glave in nadzor nad zgornjim delom telesa, izboljšana gibljivost kolena in gležnja, zlasti v kotih pri začetnem kontaktu in v fazi opore, izboljšane sposobnosti pri GMFM E testu: izboljšanje parametrov hoje, zmanjšanje potrebe po tehničnih pripomočkih za hojo, boljše ravnotežje in nadzor hoje, otroci iz skupine, ki je prejela terapijo z RAGT so razvili

Avtor in leto objave	Uporabljena metodologija	Vzorec (velikost in država)	Ključna spoznanja
			nove strategije hoje v primerjavi s kontrolno skupino, izboljšanje usmerjenosti pogleda in s tem vestibulo-okularnega ravnotežnega sistema.
Wallard, et al., 2018	Randomizirana kontrolirana klinična raziskava	30 otrok s CP spastična diplegija, vzorec hoje s poskakujočim kolenom. Starost 8–10 let 4 tedenski program; 20 sej, 5x na teden po 40 minut Dve skupini: 1. Eksperimentalna skupina (20 RAGT sej z Lokomatom) 2. Kontrolna skupina (1e konvencionalna fizioterapija) Francija	Raziskovali so učinke konvencionalne terapije in uporabo RAGT. RAGT z Lokomatom je izboljšala dinamično ravnotežje, hitrost hoje, dolžino koraka in nadzor telesa pri hoji. Rezultati so pokazali: izboljšano posturalno stabilnost, zato posledično večja enonožna opora, manjša dvo-nožna, boljše rezultate v GMFM dimenziji E za 8,64 točk in dimenziji D za 6,69 točk, izboljšan nadzor nad ravnotežjem pri meritvah COM–COP, krajši časovni zamik med neravnovesjem in ustvarjanjem potisnih sil, bolj harmoničen in enakomeren vzorec hoje, povečanje hitrosti hoje in dolžine koraka, kar je bilo povezano z občutnim zmanjšanjem kadence in širine koraka ter povečanim dinamičnim nadzorom.
Yazıcı, et al., 2019	Randomizirana kontrolirana klinična raziskava	24 otrok s hemiparetično CP,	Raziskovali so učinke med RAGT in konvencionalno fizioterapijo.

Avtor in leto objave	Uporabljena metodologija	Vzorec (velikost in država)	Ključna spoznanja
		razvrščeni v stopnje I–II po GMFCS lestvici Starost 5–12 let 12-tedenski program; 36 sej, 3x na teden, po 30 minut Dve skupini: 1. Eksperimentalna skupina (36 RAG terapij + konvencionalna fizioterapija – ST) 2. Kontrolna skupina (konvencionalna fizioterapija) Konvencionalna terapija je vključevala: aktivne funkcionalne vaje za krepitev antigravitacijskih mišic spodnjih udov, raztezne vaje za upogibalke kolena in kolka, plantarne fleksorje ter adduktorje, počep do končne ekstenzije, vaje vzpenjanja in spuščanja po stopnicah, funkcionalni doseg, vadbo ravnotežja z uporabo ravnotežne deske ter stojo na eni nogi. Turčija	Rezultati raziskave: povečanje ocene na PBS lestvici in daljše trajanje stanja na eni nogi v eksperimentalni skupini, v kateri so bili rezultati ohranjeni tudi po trimesečnem spremljanju, čas 10-metrskega testa hoje pri izbrani hitrosti se je bistveno skrajšal v skupini z RAGT + ST, medtem ko so bile spremembe v kontrolni skupini manj izrazite, razdalja v 6MWT se je v eksperimentalni skupini povprečno povečala za 66 m (v kontrolni skupini za 22 m), kar nakazuje trikrat večji rezultat vzdržljivosti, boljši rezultati na FAQ-WL lestvici, kar kaže na boljšo samostojnost pri vsakodnevni dejavnosti, ki zahtevajo hojo, vsi preizkusi funkcionalne mišične moči (lateralni step-up test, sit-to-stand test, half-kneeling standing test) so se po RGT bistveno izboljšali, razen lateralnega stopanja navzgor testa za paretično nogo, po zdravljenju so se pri eksperimentalni skupini povečale vrednosti regionalne oksigenacije vastus lateralis mišice (rSO₂), kar potrjuje aerobni učinek RAGT.

Avtor in leto objave	Uporabljena metodologija	Vzorec (velikost in država)	Ključna spoznanja
			Vključitev RAGT kot podporne terapije h konvencionalni fizioterapiji pri otrocih s CP hemipareza je privedla do pomembnih izboljšav pri hoji, ravnotežju, vzdržljivosti, mišični moči in mišični oksigenaciji.
Zhang, et al., 2024	Randomizirana enojno slepa klinična raziskava	23 otrok s CP, razvrščeni II–IV po GMFCS lestvici Starost 3–10 let 4 tedenski program; 20 sej, 5x na teden po 30 minut Dve skupini: 1. Skupina je bila razdeljena na 3 faze rehabilitacije: 1. faza je bila RAGT z – AiWalker-K v kombinaciji s konvencionalno rehabilitacijo; 2. faza je bila konvencionalna rehabilitacija; 3. faza pa prav tako konvencionalna rehabilitacija. 2. skupina je bila prav tako razdeljena na 3 faze: 1. faza je bila konvencionalna rehabilitacija; 2. faza je bila z RAGT – AiWalker-K v kombinaciji s konvencionalno rehabilitacijo; 3. faza pa ponovno konvencionalna rehabilitacija. Konvencionalna rehabilitacija vključuje:	Raziskovali so učinke med izvajanjem RAGT in konvencionalno rehabilitacijo. Po kombiniranem zdravljenju z RAGT (AiWalker-K) in konvencionalno rehabilitacijo so se v primerjavi z izvajanjem samo konvencionalne rehabilitacije ($p < 0,05$) pomembno izboljšali rezultati: 6-minutnega testa hoje (6MWT), GMFM-88 (v dimenzijah D in E), PBS ter EVGS. Rezultati raziskave: izboljšala sta se področje testa GMFM – D (stoja) ter področje E (hoja tek in skakanje), izboljšali so se rezultati PBS testa, za oceno ravnotežnih sposobnosti otrok z blago do zmerno motorično disfunkcijo, do izboljšanja je prišlo tudi pri testu EVGS, za dvodimenzionalno vizualno analizo hoje in drže pri otrocih s CP.

Avtor in leto objave	Uporabljena metodologija	Vzorec (velikost in država)	Ključna spoznanja
		nevromišične facilitacijske tehnike, vaje za ravnotežje, vadbo za krepitev trupa in sklepov, vaje za nadzor drže ter vadbo za nadzor gibanja. Kitajska	

Legenda: COPM – kanadska lestvica za oceno delovne uspešnosti, CPCHILD – prednostne naloge skrbnika in indeks zdravja otrok z motnjami, CPIP-UK – celostna pot obravnave CP – Združeno kraljestvo, ES – velikost učinka, EVGS – Edinburška vizualna ocena hoje, FAC – funkcionalna kategorija hoje, FAQ-WL – funkcionalni vprašalnik – raven hoje, GAS – lestvica doseganja ciljev, GDI – indeks odstopanja hoje, GMFM-88 – 88 nalog za ocenjevanje grobe motorične funkcije, GMFM-D – ocenjevanje grobe motorične funkcije dimenzija D, GMFM-E – ocenjevanje grobe motorične funkcije dimenzija E, MTS – prilagojena Tardieujeva lestvica, NIRS – bližnja infrardeča spektroskopija, PBS – otroška lestvica ravnotežja, PCI – fiziološki indeks porabe energije, QOL – vprašalnik za oceno kakovosti življenja, ROM – obseg gibanja, TUG – test vstani in pojdi, WeeFIM – otroška lestvica za oceno funkcionalne samostojnosti, 6-MWT – 6-minutni test hoje, 10-mWT – 10-metrski test hoje

2.4.2 Prikaz rezultatov po kodah in kategorijah

V tabelo 4 smo razporedili kode pregledanih člankov in jih na podlagi odprtega kodiranja razporedili v dve kategoriji. V postopku kodiranja smo identificirali 51 kod, ki smo jih razvrstili glede na njihove lastnosti in oblikovali dve kategoriji:

K1: učinki robotsko podprte terapije na funkcionalnost hoje pri otrocih s CP;

K2: testi, lestvice in vprašalniki, s katerimi se meri napredek in kakovost terapij.

Tabela 4: Razporeditev kod po kategorijah

Kategorija	Kode	Avtorji
K1: učinki robotsko podprte terapije na funkcionalnost hoje pri otrocih s CP	ROM kolk – ROM koleno – ROM gleženj – simetrija hoje – hitrost hoje – dolžina koraka – kadenca – mišična moč – spastičnost – poraba kisika – srčni utrip – krvni tlak – energetska poraba – metabolna poraba energije za hojo – varnost – neželeni dogodki – funkcionalne sposobnosti – motorične sposobnosti – izvršilne funkcije – kognitivne funkcije – zadovoljstvo uporabnika – izvajanje vsakodnevnih aktivnosti – kakovost življenja – ES 25 kod	Cortés-Pérez, et al., 2022; De Luca, et al., 2022; Gordon, et al., 2023; Jin, et al., 2020; Kim, et al., 2021; Manikowska, et al., 2021; Pool, et al., 2020; Wallard, et al., 2017; Wallard, et al., 2018; Yazıcı, et al., 2019; Zhang, et al., 2024.

Kategorija	Kode	Avtorji
K2: testi, lestvice in vprašalniki, s katerimi se meri napredek in kakovost terapij	6-MWT – 10-mWT – TUG – FAQ-WL – GMFM-88 – GMFM-D – GMFM-E – PBS – Bergova lestvica ravnotežja – test stopanja navzgor – test vsedanja in vstajanja – test vstajanja iz polklečечеga položaja – COPM – GAS – WeeFIM – FAC – CPCHILD – PCI – NIRS – GDI – MTS – ROM – CPIP-UK protokol – CP QOL vprašalnik – EVGS 25 kod	Cortés-Pérez, et al., 2022; De Luca, et al., 2022; Gordon, et al., 2023; Jin, et al., 2020; Kim, et al., 2021; Manikowska, et al., 2021; Pool, et al., 2020; Wallard, et al., 2017; Wallard, et al., 2018; Yazıcı, et al., 2019; Zhang, et al., 2024.

Legenda: COPM – kanadska lestvica za oceno delovne uspešnosti, CPCHILD – prednostne naloge skrbnika in indeks zdravja otrok z motnjami, CPIP-UK – celostna pot obravnave CP – Združeno kraljestvo, ES – velikost učinka, EVGS – Edinburška vizualna ocena hoje, FAC – funkcionalna kategorija hoje, FAQ-WL – funkcionalni vprašalnik – raven hoje, GAS – lestvica doseganja ciljev, GDI – indeks odstopanja hoje, GMFM-88 – 88 nalog za ocenjevanje grobe motorične funkcije, GMFM-D – ocenjevanje grobe motorične funkcije dimenzija D, GMFM-E – ocenjevanje grobe motorične funkcije dimenzija E, MTS – prilagojena Tardieujeva lestvica, NIRS – infrardeča spektroskopija, PBS – otroška lestvica ravnotežja, PCI – fiziološki indeks porabe energije, QOL – vprašalnik za oceno kakovosti življenja, ROM – obseg gibanja, TUG – test vstani in pojdi, WeeFIM – otroška lestvica za oceno funkcionalne samostojnosti, 6-MWT – 6-minutni test hoje, 10-mWT – 10-metrski test hoje

2.5 RAZPRAVA

Namen diplomskega dela je bil s pregledom literature obravnavati učinkovitost robotsko podprte terapije (RAGT) na funkcionalnost hoje pri otrocih s CP in ugotoviti, katerih testov, lestvic in vprašalnikov za merjenje napredka in kakovosti terapije so se raziskovalci posluževali v raziskavah.

V sklopu pregleda literature smo oblikovali dve kategoriji. V prvo kategorijo smo razvrstili učinke, ki jih ima robotsko asistirana vadba pri otrocih s CP, na katere smo naleteli v procesu pregleda literature. V drugo kategorijo smo vključili vse omenjene teste, lestvice in vprašalnike, s katerimi so raziskovalci sledili začetnemu stanju, napredkom in sami kakovosti terapije tako na psihične kot fizične komponente otrok s CP.

V raziskavah Wallard, et al. (2018; 2017) opisujejo CP kot skupino “neprogresivnih motoričnih in posturalnih motenj”, pri katerih so otroci pogosto omejeni v hoji zaradi posturalne nestabilnosti, togosti trupa in zgornjega dela telesa ter neprimerne senzomotorične koordinacije med fazami hoje. Prav tako v raziskavi Zhang, et al. (2024) definirajo CP kot “skupino trajnih centralnih, motoričnih in posturalnih motenj” z

omejitvami pri hoji ter omenjajo spremljajoče senzorične, perceptivne in vedenjske motnje, ki vplivajo na motorično funkcijo in ravnotežje.

Z natančnim pregledom devetih raziskav smo prišli do ugotovitev, da ima RAGT pozitiven učinek na otroke s CP in njihovo kakovost življenja, vendar so različne terapije potrebne skozi celotno življenje pacienta, saj se učinki kažejo v nekaj tednih raziskav, vendar se ponavadi po prenehanju raziskave/terapij vrnejo v prvotno stanje (Pool, et al., 2020; Jin, et al., 2020; Cortés-Pérez, et al., 2022; Grodon, et al., 2023). Iz raziskav ugotovimo, da se širok spekter funkcionalnosti hoje in motoričnih sposobnosti kaže preko izboljšanega posturalnega nadzora in kinematike hoje (Wallard, et al., 2017; Wallard, et al., 2018; Manikowska, et al., 2021), časovno-prostorskih parametrov, kot so kadenca, hitrost, dolžina koraka, širina koraka (Wallard, et al., 2017; Wallard, et al., 2018; Kim, et al., 2021; Manikowska, et al., 2021; Cortés-Pérez, et al., 2022), vzdržljivosti hoje (Yazıcı, et al., 2019; Kim, et al., 2021; Cortés-Pérez, et al., 2022; Zhang, et al., 2024), energetske učinkovitosti hoje (Jin, et al., 2020; Zhang, et al., 2024), meril grobe motorične funkcije (Wallard, et al., 2017; Wallard, et al., 2018; Pool, et al., 2020; Jin, et al., 2020; Kim, et al., 2021; De Luca, et al., 2022; Cortés-Pérez, et al., 2022; Zhang, et al., 2024), samostojnosti in mobilnosti (Pool, et al., 2020; Jin, et al., 2020; Grodon, et al., 2023), mišične moči in tonusa (Yazıcı, et al., 2019; Jin, et al., 2020; Grodon, et al., 2023), mišične oksigenacije (Yazıcı, et al., 2019), neodvisnosti od pripomočkov (Wallard, et al., 2017) ter same kakovosti življenja (De Luca, et al., 2022; Grodon, et al., 2023).

V sklopu prvega raziskovalnega vprašanja smo podrobneje raziskali, katere konkretne učinke z RAGT na funkcionalnost hoje poročajo avtorji devetih preučevanih raziskav. Namen Wallard, et al. (2017) raziskave je bil osvetliti vpliv RAGT na nadzor dinamičnega ravnotežja med hojo pri otrocih s CP z analizo različnih posturalnih strategij celotnega telesa pred in po RAGT, z namenom ustvarjanja naprednega gibanja ob hkratnem ohranjanju ravnotežja. RAGT, ki temelji na intenzivnosti in ponavljanju gibanja, ima ugodne učinke na nadzorovanje in izboljšanje posturalnih ter gibalnih funkcij pri pacientih s CP. Otroci s spastično diplegijo zaradi neustreznega nadzora nad držo pogosto prekomerno prehajajo v dvo-nožno fazo hoje, saj jim primanjkuje stabilnosti

medenice, trupa in glave. V rezultatih so prikazane spremembe v posturalnih in gibalnih funkcijah, ki vodijo v reorganizacijo celotne telesne kinematike. Zlasti se to kaže v boljšem nadzoru zgornjega dela telesa, povezanem z izboljšano kinematiko spodnjih udov, kar je podobno vrednostim, opaženim pri običajno razvijajočih se otrocih. Posturalni nadzor in stabilnost so opisali kot izrazito izboljšano sposobnost stabilizacije glave, trupa in medenice med hojo, kar se je odrazilo v večji enonožni opori, znižani frekvenci prehodov v dvo-nožno oporo ter izboljšanem dinamičnem ravnotežju skozi vse faze koraka (Wallard, et al., 2017). Z dopolnitvijo prve raziskave v Wallard, et al. (2018) opisujejo boljši nadzor neravnovesja med težiščem telesa in točko pritiska na podlago, z manj pomembnim časovnim zamikom med nastankom neravnovesja in ustvarjanjem potisnih sil, kar podpira prisotnost aktivne potisne strategije hoje. Rezultati so pokazali, da se je razdalja med težiščem telesa in točko pritiska na podlago po RAGT povečala vzdolž anteroposteriorne osi, ki pa je bilo predvsem povezano z večjo hitrostjo hoje in daljšo dolžino koraka.

6MWT meri prehojeno razdaljo, ki jo posameznik lahko prehodi v šestih minutah hoda po ravni površini kot indikator funkcionalne vzdržljivosti hoje. Raziskovalci, ki so v svoje raziskave vključili 6MWT (Yazıcı, et al., 2019; Kim, et al., 2021; Cortés-Pérez, et al., 2022; Zhang, et al., 2024) so poročali o povečanju povprečne prehojene razdalje pri eksperimentalni skupini oz. pri udeležencih vključenih v raziskave. Med eksperimentalno skupino, kjer je bila kombinirana terapija RAGT in konvencionalna fizioterapija in kontrolno skupino, kjer je bila le konvencionalna fizioterapija je prišlo do velikih razlik v prehojeni razdalji (Yazıcı, et al., 2019; Cortés-Pérez, et al., 2022). Časovno-prostorski parametri hoje odražajo izboljšanje funkcionalne mobilnosti in so primarni izid RAGT raziskav. Robotska terapija je v primerjavi s konvencionalno terapijo, ki je vključevala v specifične naloge usmerjeno fizioterapijo, individualne vaje, vadbo na tekočem traku, trening na antigravitacijski stezi in klasične pasivne terapevtske pristope, statistično superiorna pri hitrosti hoje in dolžini koraka (Cortés-Pérez, et al., 2022). Na podlagi pregledanih raziskav (Wallard, et al., 2018; Pool, et al., 2020; Kim, et al., 2021; Cortés-Pérez, et al., 2022; Zhang, et al., 2024) smo ugotovili, da je prišlo pri vseh do izboljšav v hitrosti hoje in dolžini koraka, v kadenci hoje, ki je bila občutno zmanjšana (Wallard, et

al., 2018; Kim, et al., 2021), ter širini koraka, ki se je prav tako bistveno zmanjšala ($p < 0,05$) (Wallard, et al., 2018). Po dvo-mesečnem spremljanju se ohranijo le izboljšave dolžine koraka, medtem ko se učinki na hitrost hoje, prehojeno razdaljo in ostale parametre hoje izgubijo (Cortés-Pérez, et al., 2022).

Fiziološki indeks porabe energije (PCI) je opredeljen kot razlika med srčnim utripom v mirovanju in med hojo, deljeno s hitrostjo hoje. Zhang, et al. (2024) so ugotovili, da se je fiziološki indeks porabe energije po 4 tedenski kombinirani terapiji z RAGT in konvencionalni terapiji značilno zmanjšal, kar kaže na boljšo energijsko učinkovitost hoje – manjša razlika med srčnim utripom v mirovanju in med hojo glede na hitrost hoje. To zmanjšanje je bilo statistično značilno z izboljšano hitrostjo hoje in daljšo dolžino koraka, kar pomeni, da so otroci s CP pri enaki ali večji zmogljivosti v hoji potrebovali manj energije. Prav tako so v raziskavi Jin, et al. (2020) z robotsko napravo Walkbot-K merili porabo energije pri hoji in ugotovili statistično značilno znižanje porabe energije na enoto razdalje, kar pomeni bolj učinkovito rabo kisika med hojo. Med raziskavo so zabeležili povečanje skeletne mišične mase, kar skupaj z nižjo energetske porabo podpira zaključek, da je RAGT pripomogel k izboljšanju mišične učinkovitosti hoje.

Boljša oksigenacija mišic lahko pomeni učinkovitejšo mišično presnovo in manjšo utrujenost med hojo. V raziskavi Yazıcı, et al. (2019) so ocenjevali regionalno nasičenost kisika (rSO_2) v m. vastus lateralis z uporabo infrardeče spektroskopije (NIRS). Opažen je bil trend izboljšane mišične oksigenacije po vadbi v eksperimentalni skupini, vendar brez statistično značilnih razlik. Prav tako so ocenjevali mišično moč s funkcionalnimi testi: test vstajanja iz sedečega položaja (sit-to-stand test), test stopanja navzgor (step up test) ter test vstajanja iz polklečечеga položaja (half kneeling standing test – HKST). Funkcionalne ocene mišične moči spodnjih udov so pokazale statistično značilna izboljšanja pri vseh parametrih, razen pri lateralnem testu stopanja navzgor s paretičnim udom, tj. v eksperimentalni skupini. V raziskavi Grodon, et al. (2023) so ocenjevali spastičnost oz. tonus mišic spodnjih udov, vključno z m. gastrocnemius in m. soleus. Ugotovili so zmanjšanje spastičnosti levega gastrocnemiusa ($p = 0.02$), a ne pomembnih zmanjšanj v drugih mišicah. Tonus je pri otrocih, ki so na višjih stopnjah lestvice

GMFCS, pogosto zelo spremenljiv, kar oteži merjenje učinkov intervencije (Grodon, et al., 2023).

Avtorji (Wallard, et al., 2017; Wallard, et al., 2018; Pool, et al., 2020; Jin, et al., 2020; Kim, et al., 2021; De Luca, et al., 2022; Cortés-Pérez, et al., 2022; Zhang, et al., 2024), ki so napredek grobih motoričnih funkcij merili s GMFM (Gross Motor Function Measure), so prišli do zaključka, da je RAGT učinkovita metoda za izboljšanje grobih motoričnih sposobnosti pri otrocih s CP, zlasti v dimenzijah D (stanje) in E (hoja, tek in skoki). Večina raziskav je poročala o statistično značilnih izboljšanjih po intervencijah, kar potrjuje uporabnost GMFM kot zanesljivo orodje za spremljanje motoričnega napredka v rehabilitaciji otrok s CP. Poleg izboljšanja v dimenziji GMFM-E so v raziskavi De Luca, et al. (2022) zaznali napredek tudi v dimenziji GMFM-D, ki zajema stojo, kar kaže na širši funkcionalni učinek intervencije. Avtorji so izpostavili, da je bila uporaba RAGT povezana z izboljšano stabilnostjo in nadzorom trupa in medenice, kar lahko prispeva k večji neodvisnosti pri vsakodnevnih dejavnostih.

Za vrednotenje učinkov robotsko podprte terapije pri otrocih s CP so raziskovalci uporabili različne standardizirane teste, lestvice in vprašalnike. Vpliv robotske terapije na samostojnost in pomičnost pri otrocih s CP so vključevale tri raziskave, ki so uporabile ocenjevalna orodja kot so: kanadska lestvica za oceno delovne uspešnosti, otroška lestvica za oceno funkcionalne samostojnosti in lestvica doseganja ciljev. Jin, et al. (2020) so poročali o statistično značilnem izboljšanju rezultatov na lestvici WeeFIM ($p = 0.007$) ter o izboljšani sposobnosti izvajanja dejavnosti ($p < 0.001$) in zadovoljstvu ($p = 0.001$) na lestvici COPM. Pool, et al. (2020) so z uporabo COPM in GAS ugotovili izboljšanje v ciljno usmerjeni izvedbi, vendar brez statistično pomembnih razlik med eksperimentalno in kontrolno skupino. Grodon, et al. (2023) so s pomočjo lestvice doseganja ciljev ugotovili, da je 88 % udeležencev napredovalo glede na zastavljene terapevtske cilje. Funkcionalne sposobnosti gibanja so najpogosteje ocenjevali z GMFM, pri čemer so nekateri uporabili celotno različico GMFM-88 (Wallard, et al., 2017; Jin, et al., 2020; De Luca, et al., 2022), medtem ko so drugi ocenjevali le posamezne dimenzije, zlasti D (stanje) in E (hoja, tek, skoki) (Wallard, et al., 2018; Yazıcı, et al., 2019; Kim, et

al., 2021; Cortés-Pérez, et al., 2022; Zhang, et al., 2024). GMFM omogoča kvantitativno spremljanje napredka v grobi motorični funkciji pri izvedbi nalog, značilnih za vsakdanjo funkcionalnost in je pogosto uporabljen kot osrednje klinično orodje za spremljanje učinkov rehabilitacije pri otrocih s CP. Za hojo in prostorsko-časovne parametre so uporabili tudi test na 10MWT za merjenje hitrosti hoje (Yazıcı, et al., 2019; Pool, et al., 2020; Cortés-Pérez, et al., 2022), indeks odstopanja hoje (GDI) (Manikowska, et al., 2021) za oceno odstopanja v gibalnem vzorcu ter fiziološki indeks porabe energije (PCI), ki ocenjuje energijsko učinkovitost hoje na podlagi srčne frekvence (Zhang, et al., 2024). Mišično zmogljivost in stabilnost so spremljali z različnimi funkcionalnimi testi: test vstajanja iz sedečega položaja, test stopanja navzgor in test vstajanja iz polklečечеega položaja (Yazıcı, et al., 2019), medtem ko so za oceno ravnotežja in kontrole trupa uporabili otroško lestvico za oceno ravnotežja (PBS) (Kim, et al., 2021; Zhang, et al., 2024) in Bergovo lestvico ravnotežja (Wallard, et al., 2018). Vrednotenje samostojnosti in doseganja ciljev so vključili z uporabo kanadske lestvice za oceno delovne uspešnosti (COPM) (Pool, et al., 2020; Jin, et al., 2020), lestvice doseganja ciljev (GAS) (Pool, et al., 2020; Grodon, et al., 2023) in otroško lestvico za oceno funkcionalne samostojnosti (WeeFIM) (Pool, et al., 2020; Jin, et al., 2020; Cortés-Pérez, et al., 2022), kjer so udeleženci in starši ocenjevali izvedbo vsakodnevnih dejavnosti in stopnjo zadovoljstva.

Za merjenje spastičnosti so Grodon, et al. (2023) uporabili prilagojeno Tardieujevo lestvico (MTS), za meritve obsega gibljivosti sklepov pa so uporabljali goniometer, in to znotraj standardiziranega protokola (CPIP-UK) celostne obravnave CP. Merjenje mišične oksigenacije z uporabo infrardeče spektroskopije (NIRS) pa je omogočilo vpogled v mišično presnovo med hojo (Yazıcı, et al., 2019).

Kakovost življenja kot izid intervencije je bila ocenjena v dveh raziskavah z uporabo vprašalnika prednostne naloge skrbnika in indeks zdravja otrok z motnjami (CPCHILD) in vprašalnikom za oceno kakovosti življenja (CP QOL) za ljudi s CP. Grodon, et al. (2023) so uporabili CPCHILD in poročali, da se je kakovost življenja izboljšala pri 36 % udeležencev po 6 tedenskem programu z robotsko napravo Innowalk, zlasti pri otrocih v višji starosti. De Luca, et al. (2022) so z uporabo vprašalnika CP QOL zaznali statistično

značilno izboljšanje kakovosti življenja ($p < 0.005$; velikost učinka – effect size, $ES = 1.14$) po robotski terapiji z Lokomatom.

Skupaj ti instrumenti predstavljajo širok nabor kliničnih in ocenjevalnih orodij v raziskavah za celostno oceno napredka in kakovosti rehabilitacijskih učinkov robotske terapije.

2.5.1 Omejitve raziskave

Pri analizi izbranih znanstvenih člankov, povezanih z učinkovitostjo RAGT pri otrocih s CP, smo naleteli na več metodoloških in vsebinskih omejitev. Prva pomembna omejitev je nizko število raziskav z visoko metodološko kakovostjo, kot so randomizirane kontrolirane raziskave z večjim številom udeležencev. Večina raziskav vključuje relativno majhne vzorce, kar zmanjšuje možnost generalizacije ugotovitev. Poleg tega se med raziskavami pojavljajo razlike v vrstah uporabljenih robotskih naprav, dolžini in intenzivnosti intervencij, kar otežuje neposredno primerjavo rezultatov. Nekatere raziskave ne poročajo o dolgoročnih učinkih terapije, prav tako je v določenih primerih pomanjkljiva natančna opredelitev uporabljenih merskih orodij ali pa niso poročani rezultati po vseh dimenzijah. Ugotavljamo tudi, da je raziskav, ki bi bile izvedene v slovenskem zdravstvenem prostoru ali objavljene v slovenskem jeziku, zelo malo oziroma jih ni, zato je bil celoten pregled literature opravljen izključno na podlagi tujih virov.

2.5.2 Doprinos za prakso ter priložnosti za nadaljnje raziskovalno delo

Diplomsko delo osvetljuje aktualno področje uporabe RAGT v rehabilitaciji otrok s CP, ki v slovenskem jeziku še ni sistematično prikazano. Analiza tuje literature prispeva k boljšemu razumevanju učinkov tovrstnih tehnologij na izboljšanje grobe motorike, hoje, ravnotežja, funkcionalne neodvisnosti ter kakovosti življenja otrok z različnimi stopnjami motorične prizadetosti. Pregled izsledkov kaže, da bi bilo v praksi smiselno več pozornosti nameniti individualiziranemu pristopu pri izbiri robota, trajanju terapije in

kombiniranju z drugimi oblikami fizioterapevtskih pristopov.

Nadaljnje raziskave bi morale vključevati večje vzorce otrok, spremljanje dolgoročnih učinkov terapije ter neposredno primerjavo različnih tipov robotske opreme. Dodatna priložnost predstavlja tudi proučevanje vpliva robotske hoje na kognitivne funkcije, samostojnost pri vsakodnevnih aktivnostih in vključevanje staršev v proces terapije. Diplomsko delo tako služi kot strokovna osnova za razvoj nadaljnjih kliničnih raziskav in je dobra iztočnica za nadgradnjo smernic pri implementaciji sodobnih rehabilitacijskih tehnologij v pediatrični nevrofizioterapiji.

3 ZAKLJUČEK

CP je kompleksna in doživljenjska nevrološka motnja, ki vpliva na gibanje, koordinacijo in mišični tonus ter je pogosto povezana s spremljajočimi težavami, kot so epilepsija, učne in vedenjske motnje. Natančno razumevanje različnih oblik CP ter njihovih vplivov na vsakodnevno funkcionalnost je ključno za oblikovanje ustrezne fizioterapevtske obravnave. Klinična slika CP se med posamezniki močno razlikuje, zato je potreben celosten, prilagojen pristop. Celotna obravnava CP presega zgolj medicinsko diagnozo in vključuje podporo, ki vpliva na kakovost življenja otroka in njegove družine.

Zaključki pregleda literature na področju RAGT pri otrocih s CP kažejo, da ta metoda prinaša večplastne in medsebojno povezane koristi za izboljšanje motorične funkcije in večjo vsakodnevno samostojnosti otrok. RAGT zagotavlja izjemno visoko intenzivnost in ponavljanje hoji podobnih gibov, kar omogoča krepitev posturalnih mehanizmov in stabilnosti trupa ter glave med hojo, s čimer se bistveno izboljšajo enonožna opora, zaznavanje pravilnega vzorca hoje in dinamično ravnotežje. Prav tako se sistematično izboljšajo časovno-prostorski parametri hoje, kot so hitrost hoje in dolžina koraka, ob hkratnem zmanjšanju kadence in širine koraka, kar kaže na bolj nadzorovan in učinkovit vzorec hoje. Otroci po ciklu terapije običajno hodijo hitreje in dlje, kar neposredno izboljša njihovo vzdržljivost hoje ter zmanjša fiziološko porabo energije za hojo. Poleg tega se večja skeletna mišična masa in zmanjšuje spastičnost, kar podpira mišično učinkovitost in odpornost proti utrujenosti med hojo. Ne le gibalne in fiziološke spremembe, RAGT prinaša tudi vidno povečanje samostojnosti pri vsakodnevni opravih ter zadovoljstva otrok in njihovih družin, saj se zmanjšuje odvisnost od hodulj, bergel in drugih pripomočkov, ter se izboljšuje možnost socialnega vključevanja v aktivnosti brez dodatne pomoči. Pa vendar je ključno poudariti, da se pridobljene koristi pogosto ne ohranijo brez ustreznega vzdrževalnega programa; saj delni upad izboljšav po prekinitvi terapij odpira potrebo po dolgoročnih, prilagojenih vzdrževalnih protokolih. Za učinkovito klinično izvajanje je potrebno oblikovati standardizirane smernice glede trajanja, frekvence in intenzivnosti terapije, ki bodo ustrezale različnim motoričnim profilom otrok s CP, ter vpeljati sistem spremljanja rezultatov, ki bodo združevali

objektivne meritve hoje z oceno funkcionalne neodvisnosti in kakovosti življenja. V kliničnem okolju je priporočljivo vključiti RAGT kot del celostnega rehabilitacijskega programa že v zgodnjih fazah obravnav, z nadaljevanjem v obliki prilagojenih vzdrževalnih terapij, da bi dosegli trajne učinke in preprečili regresijo pridobljenih funkcionalnih sposobnosti.

Pri tem je pomembno zagotoviti ustrezno usposobljenost terapevtov ter dostopnost naprav, kar zahteva sodelovanje med klinikami, z vključenostjo raziskovalcev in proizvajalcev tehnologije.

Pri nadaljnjih raziskavah je nujno izvesti večcentrične, dolgoročne raziskave z večjimi vzorci, ki bodo spremljale otroke skozi obdobja prehoda iz otroštva v mladost in odraslost, da se oceni trajnost pridobljenih izboljšav in učinkovitost vzdrževalnih programov. Prav tako je smiselno primerjati različne robotske platforme in kombinacije terapij ter raziskati nevroplastične mehanizme, ki spremljajo spremembe, z uporabo naprednih neinvazivnih metod.

Razvoj personaliziranih protokolov, podprtih z algoritmi robota, lahko prinese optimizacijo terapije za posameznega otroka, kar bo pripomoglo k optimalnemu razmerju med intenzivnostjo, varnostjo in trajnostjo izidov. Z upoštevanjem teh priporočil lahko RAGT postane trajnosten in učinkovito vpeljan del rehabilitacijskega procesa, ki bo prispeval k večji samostojnosti, boljši kakovosti življenja in dolgoročnemu izboljšanju gibalnih sposobnosti otrok s CP.

4 LITERATURA

Cortés-Pérez, I., González-González, N., Peinado-Rubia, A.B., Nieto-Escamez, F.A., Obrero-Gaitán, E. & García-López, H., 2022. Efficacy of Robot-Assisted Gait Therapy Compared to Conventional Therapy or Treadmill Training in Children with Cerebral Palsy: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sensors*, 22(24), pp. 1-28. 10.3390/s22249910.

Davis, R.B. & Ounpuu, S., 2004. Kinetics of Normal Gait. In: J.R. Gage, ed. *The Treatment of Gait Problems in Cerebral Palsy*. London: Mac Keith Press, pp. 120-133.

De Luca, R., Bonanno, M., Settimo, C., Muratore, R. & Calabrò, R.S., 2022. Improvement of Gait after Robotic-Assisted Training in Children with Cerebral Palsy: Are We Heading in the Right Direction? *Medical sciences*, 10(4), pp. 1-8. 10.3390/medsci10040059.

Dietz, V., 2012. Clinical Aspects for the Application of Robotics in Neurorehabilitation. In: T. Nef & W.Z. Rymer, eds. *Neurorehabilitation technology*. London: Springer-Verlag, pp. 291-301.

Gage, J.R. & Schwartz, M.H., 2004. Pathological Gait and Lever-Arm Dysfunction. In: J.R. Gage, ed. *The Treatment of Gait Problems in Cerebral Palsy*. London: Mac Keith Press, pp. 180-204.

Grodon, C., Bassett, P. & Shannon, H., 2023. The 'heROIC' trial: Does the use of a robotic rehabilitation trainer change quality of life, range of movement and function in children with cerebral palsy? *Child: Care, Health and Development*, 49(5), pp. 914-924. 10.1111/cch.13101.

Iandolo, R., Marini, F., Semprini, M., Laffranchi, M., Mugnosso, M., Cherif, A., De Micheli, L., Chiappalone, M. & Zenzeri, J., 2019. Perspectives and challenges in robotic neurorehabilitation. *Applied Sciences*, 9(15), pp. 1-29. 10.3390/app9153183.

Jin, L.H., Yang, S.S., Choi, J.Y. & Sohn, M.K., 2020. The effect of robot-assisted gait training on locomotor function and functional capability for daily activities in children with cerebral palsy: a single-blinded, randomized cross-over trial. *Brain sciences*, 10(11), pp. 1-15. 10.3390/brainsci10110801.

Kim, S.K., Park, D., Yoo, B., Shim, D., Choi, J.O., Choi, T.Y. & Park, E.S., 2021. Overground robot-assisted gait training for pediatric cerebral palsy. *Sensors*, 21(6), pp. 1-11. 10.3390/s21062087.

Kordeš, U. & Smrdu, M., 2015. *Osnove kvalitativnega raziskovanja*. Koper: Založba Univerze na Primorskem, pp. 51-60.

Manikowska, F., Brazevic, S., Krzyżańska, A. & Józwiak, M., 2021. Effects of Robot-Assisted Therapy on Gait Parameters in Pediatric Patients With Spastic Cerebral Palsy. *Frontiers in Neurology*, 12, pp. 1-8. 10.3389/fneur.2021.724009.

Marchal-Crespo, L. & Riener, R., 2018. Robot-assisted gait training. In: R. Colombo & V. Sanguineti, eds. *Rehabilitation robotics: Technology and application*. London: Elsevier, pp. 227-240.

Michmizos, K.P. & Krebs, H.I., 2017. Pediatric robotic rehabilitation: Current knowledge and future trends in treating children with sensorimotor impairments. *NeuroRehabilitation*, 41(1), pp. 69-76. 10.3233/NRE-171458.

Miller, F. & Bachrach, S.J., 2006. *Cerebral palsy: A complete guide for caregiving*. 2nd ed. London: Johns Hopkins University Press.

Moreno, J.C., Figueiredo, J. & Pons, J.L., 2018. Exoskeletons for lower-limb rehabilitation. In: R. Colombo & V. Sanguineti, eds. *Rehabilitation robotics: Technology and application*. London: Elsevier, pp. 89-99.

Page, M.J., McKenzie, J.M., Bossuyt, P.M., Boutron, I., Hoffmann, T.C., Mulrow, C.D., Shamseer, L., Tetzlaff, J.M., Akl, E.A., Brennan, S.E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J.M., Hróbjartsson, A., Lalu, M.M., Li, T., Loder, E.W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L.A., Stewart, L.A., Thomasab, J., Tricco, A.C., Welch, V.A., Whiting, P. & Moher, D., 2021. The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *Journal of Clinical Epidemiology*, 134(2021), pp. 178-189. 10.1016/j.jclinepi.2021.03.001.

Polit, D.F. & Beck, C.T., 2021. *Essentials of Nursing research: Apprising Evidence of Nursing practice*. 10th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer/Lippincott, Williams & Wilkins.

Pool, D., Valentine, J., Taylor, N.F., Bear, N. & Elliott, C., 2020. Locomotor and robotic assistive gait training for children with cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 63(3), pp. 328-335. 10.1111/dmcn.14746.

Schwartz, M.H., 2004. Kinematics of Normal Gait. In: J.R. Gage, ed. *The Treatment of Gait Problems in Cerebral Palsy*. London: Mac Keith Press, pp. 99-119.

Simonetti, D., Tagliamonte, N.L., Zollo, L., Accoto, D. & Guglielmelli, E., 2018. Biomechatronic design criteria of systems for robot-mediated rehabilitation therapy. In: R. Colombo & V. Sanguineti, eds. *Rehabilitation robotics: Technology and application*. London: Elsevier, pp. 29-46.

Turolla, A., 2018. An overall framework for neurorehabilitation robotics: Implications for recovery. In: R. Colombo & V. Sanguineti, eds. *Rehabilitation robotics: Technology and application*. London: Elsevier, pp. 15-27.

Wallard, L., Dietrich, G., Kerlirzin, Y. & Bredin, J., 2017. Robotic-assisted gait training improves walking abilities in diplegic children with cerebral palsy. *European Journal of Paediatric Neurology*, 21(3), pp. 557-564. 10.1016/j.ejpn.2017.01.012.

Wallard, L., Dietrich, G., Kerlirzin, Y. & Bredin, J., 2018. Effect of robotic-assisted gait rehabilitation on dynamic equilibrium control in the gait of children with cerebral palsy. *Gait & posture*, 60, pp. 55-60. 10.1016/j.gaitpost.2017.11.007.

Yazıcı, M., Livanelioğlu, A., Gücüyener, K., Tekin, L., Sümer, E. & Yakut, Y., 2019. Effects of robotic rehabilitation on walking and balance in pediatric patients with hemiparetic cerebral palsy. *Gait & Posture*, 70, pp. 397-402. 10.1016/j.gaitpost.2019.03.017.

Zhang, Y., Hui, Z., Qi, W., Zhang, J., Wang, M. & Zhu, D., 2024. Effects of a new robot-assisted gait training on motor functions and cardiopulmonary fitness in children with cerebral palsy. *PLOS ONE*, 19(5), pp. 1-15. 10.1371/journal.pone.0303517.