

ROBOTSKO PODPRTA DELOVNOTERAPEVTSKA OBRAVNAVA ZGORNJEGA UDA NEVROLOŠKIH BOLNIKOV: PREGLED LITERATURE IN ŠTUDIJA PRIMERA *ROBOT-ASSISTED OCCUPATIONAL THERAPY FOR UPPER LIMB REHABILITATION IN NEUROLOGICAL PATIENTS: A LITERATURE REVIEW AND CASE STUDY*

dr. Lea Šuc¹, MSc., dipl. del. ter., Marko Vidovič^{1,2}, mag. kin., dipl. del. ter.,
Julija Ocepek¹, MSc., dipl. del. ter.

¹Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije – Soča, Ljubljana

²Medicinska fakulteta, Univerza v Ljubljani

Povzetek

Izhodišča:

Robotske naprave za zgornji ud predstavljajo pomembno inovacijo v rehabilitaciji. Ker raziskave kažejo, da se funkcija, pridobljena s pomočjo robotske naprave, ne prenese vedno v izvajanje vsakodnevnih aktivnosti, je potrebno raziskati, ali uporaba robotov podpira delovnoterapevtsko klinično prakso. Namen tega prispevka je predstaviti raziskave s področja delovne terapije, ki obravnavajo uporabo in učinkovitost robotskih naprav v nevrorehabilitaciji zgornjega uda ter predstaviti študijo primera, ki opisuje delovnoterapevtsko obravnavo z vključevanjem robotike.

Metode:

V pregled literature smo vključili kvantitativne in kvalitativne študije, objavljene v obdobju 2010 – 2019, ki so ustrezale našim vključitvenim merilom. Črpali smo iz podatkovnih baz Medline, CENTRAL, CINAHL, OTseeker, PEDro ter Google Scholar. Študija primera je vključevala osebo po možganski kapi, ki je bila obravnavana v URI – Soča. Izvedli smo ocenjevanje pred obravnavo in po njej. Uporabljene ocenjevalne metode so vključevale Kanadsko metodo za ocenjevanje izvajanja dejavnosti (COPM), Southamptonski

Abstract

Background:

Robotic devices for upper limbs represent an important innovation in rehabilitation. However, studies show that functional gains do not always transfer to everyday activity. Therefore, it is essential to study whether the use of rehabilitation robots could benefit occupational therapy practice. This article aims to review the studies that are based in occupational therapy and explore the use and efficacy of robotic devices in neurorehabilitation. We also present a case study that describes occupational therapy treatment supported by a robotic device.

Methods:

The literature review included quantitative and qualitative studies published between 2010 and 2019 that fulfilled our inclusion criteria. Searches were conducted in the Medline, CENTRAL, CINAHL, OTseeker, PEDro and Google Scholar databases. The case study presents a stroke patient who was admitted to the University Rehabilitation Institute in Ljubljana for rehabilitation. The patient was assessed before and after the intervention using the Canadian Occupational Performance Measure (COPM), Southampton Hand Assessment Procedure (SHAP) and Motor Activity Log (MAL).

test za ocenjevanje roke (SHAP) in Vprašalnik za ocenjevanje motorične dejavnosti (MAL).

Rezultati:

V končno analizo je bilo vključenih 11 kvantitativnih študij. Članke smo razvrstili v štiri tematske sklope: (1) Kombinacija pristopov, (2) Vpliv na izvajanje dnevnih aktivnosti, (3) Primerjava s klasično delovno terapijo, (4) Značilnosti bolnikov in robotskih naprav. Študija primera je pokazala napredek pri percepciji izvedbe izbranih aktivnosti in zadovoljstvu z izvedbo ter spremembo v količini in kakovosti uporabe prizadetega zgornjega uda v vsakodnevnem življenju.

Zaključek:

Uporaba robotskih naprav lahko prispeva k boljšemu izidu rehabilitacije. Vendar pa je potrebno strokovno usmerjanje obravnave. V delovni terapiji moramo upoštevati predvsem, kako lahko izboljšanje funkcije vpliva na izvajanje aktivnosti v vsakodnevnem življenju bolnika.

Ključne besede:

robotsko podprto gibanje; delovna terapija; možganska kap; zgornji ud; odrasli

Results:

The final analysis included 11 quantitative studies. The articles were divided into four themes: (1) Combination of approaches, (2) The influence on activities of daily living, (3) Comparison with standard occupational therapy, and (4) Characteristics of patients and robotic devices. The case study showed an improvement in the self-perception of occupational performance and the satisfaction with the performance, as well as a change in the quantity and quality of the use of the affected limb in everyday life.

Conclusions:

The use of a robotic device can contribute to a better outcome of rehabilitation. However, the treatment needs professional guidance. In occupational therapy, we need to consider how the improvement in function can influence the performance of activities in the patient's everyday life.

Key words:

robot-assisted movement; occupational therapy; stroke; upper extremity; adults

UVOD

Robotske naprave postajajo del nevrorehabilitacijskih programov (1, 2). Na trgu je veliko število različnih robotskih naprav za zgornji ud. Med najbolj razširjenimi so eksoskeleti in roboti, ki imajo stik samo z distalnim delom bolnikovega telesa (3). Robotske naprave omogočajo pasivno, asistirano in aktivno gibanje.

Kljub temu, da robotske naprave za zgornji ud predstavljajo pomembno inovacijo v medicini, še vedno ni nedvoumnih dokazov o njihovi učinkovitosti (4). Pregled literature in meta analiza, ki so naredili Bertani in sodelavci (5), je pokazala, da uporaba robotskih naprav za zgornji ud v rehabilitaciji po kapi doseže izboljšanje funkcije zgornjega uda. Nasprotno pa Veerbeek in sodelavci (6) niso našli dokazov za to, da uporaba robotike prispeva k boljšemu izidu rehabilitacije zgornjega uda. Prav tako primanjkuje dokazov o tem, da se izboljšana funkcija, pridobljena s pomočjo robotske naprave, prenese tudi v vsakodnevno življenje ter izboljša izvajanje dnevnih aktivnosti in samostojnost bolnika (5-7). Robotske naprave so večinoma zasnovane tako, da vplivajo na posamezni del zgornjega uda, npr. ramo ali komolec. Zaradi ozke usmerjenosti imajo pogosto omejen vpliv na celotno gibanje zgornjega uda in izvajanje dnevnih aktivnosti (4). Ravno slednje je zelo pomembno za delovno terapijo, ki daje poudarek samostojnemu izvajanju dnevnih aktivnosti in opravil.

Nekateri avtorji so mnenja, da imata vadba s terapevtom in vadba s pomočjo robota lahko različne prednosti oziroma vplivata na različne vidike rehabilitacije. Wu in sodelavci (8) so ugotovili, da vadba s terapevtom izboljša položaj telesa in kakovost gibov, vadba z robotom pa poveča gibljivost nekaterih sklepov (npr. ramenskega sklepa). Strokovnjaki se strinjajo, da je aplikacijo robotske naprave potrebno utemeljiti glede na bolnika, njegovo zdravstveno stanje ter fazo in cilje rehabilitacije (3). Delovni terapevti moramo razmisliti tudi o tem, ali uporaba robotov podpira delovnoterapevtsko klinično prakso in je utemeljena na dokazih, ki se nanašajo na naše področje dela.

Namen tega prispevka je predstaviti raziskave s področja delovne terapije, ki obravnavajo uporabo in učinkovitost robotskih naprav v nevrorehabilitaciji zgornjega uda v povezavi z dnevnimi aktivnostmi in predstaviti študijo primera delovnoterapevtske obravnave, ki vključuje robotsko napravo.

METODOLOGIJA

Pri formuliranju raziskovalnega vprašanja smo sledili metodologiji PICO, ki je opisana v Cochranovem priročniku za sistematične preglede (9). Raziskovalni vprašanji (RV) sta bili:

RV1: Kakšne so značilnosti uporabe robotskih naprav v delovni terapiji pri nevrorehabilitaciji zgornjega uda odraslih?

RV2: Kakšni so dokazi za uporabo robotskih naprav v delovni terapiji pri nevrorehabilitaciji zgornjega uda odraslih v primerjavi s klasično delovno terapijo?

Iskanje in izbira študij za pregled literature

V pregled smo vključili kvantitativne in kvalitativne študije, ki so ustrezale naslednjim merilom: 1) objava v obdobju od 2010 do 2019, 2) vsebina se nanaša na nevrorehabilitacijo zgornjega uda, 3) vsebina se nanaša specifično na delovnoterapevtsko obravnavo ali primerjavo z delovnoterapevtsko obravnavo, 4) zunanja strokovna recenzija, 5) vir v angleškem jeziku dostopen v celoti. Izključeni so bili članki, ki so obravnavali spletne igre (*angl.* gaming) in navidezno resničnost ter študije primerov in pregledi literature. Prav tako nismo vključili študij, ki so opisovale uporabo robotike v nevrorehabilitaciji zgornjega uda, vendar niso eksplicitno omenjale delovne terapije. Glede na priporočila Cochranovega priročnika za sistematične preglede (9) smo oktobra 2019 preiskali naslednje elektronske podatkovne zbirke: Medline (preko PubMed), CENTRAL, CINAHL, OTseeker, PEDro. Zadnji dve bazi sta specifični za delovno terapijo in fizioterapijo, s čimer smo želeli odkriti študije, ki so pomembne za naše izbrano področje. Dodatno smo pregledali še Google Scholar, da bi tako identificirali študije, ki morda niso bile vključene v prej navedene podatkovne zbirke, s čimer smo povečali nabor iskalnih strategij (10).

Glede na naši raziskovalni vprašanji smo uporabili naslednjo kombinacijo ključnih besed: robot* AND (occupational therap* OR OT) AND (*rehabilitation OR therapy OR treatment) AND (upper limb OR upper extremity OR hand OR arm) AND (neur* OR brain OR stroke OR CVA or cerebrovascular incident) AND adult*.

Študije so bile izbrane v dveh korakih. V prvem koraku so bila vključitvena merila upoštevana pri pregledovanju naslovov in izvlečkov člankov, ki so bili najdeni pri iskanju literature. V drugem koraku so bili vsi preostali članki prebrani v celoti in primerjani z vključitvenimi merili. Da bi identificirali študije, ki se navezujejo specifično na področje delovne terapije, smo dodatno določili, da mora članek omenjati uporabo namenskih aktivnosti, bodisi kot terapevtsko intervencijo bodisi kot rezultat intervencije. Tako smo želeli najti raziskave, ki bi najbolje prikazovale trenutne trende v delovni terapiji in bi bile skladne s sodobno paradigmo stroke (11).

Študija primera

Preiskovanec

61-letni pacient, po izobrazbi univ. dipl. inž. strojništva, je zaposlen v manjšem podjetju kot direktor in solastnik. 20. 10. 2018 je utrpel ishemično možgansko kap desno cerebervalno, v vermisu in osrednjem delu medule oblongate, posledica česar so dizartrija, nistagmus, pareza desnih udov, pareza levih udov z ataksijo zgornjega uda. Po odpustu z nevrološke klinike je opravil rehabilitacijo v zdravilišču, od tam pa se je vrnil v domače okolje. Z ženo biva v hiši, kjer mu stopnice ne predstavljajo težav.

Na kompleksno rehabilitacijsko obravnavo v URI – Soča je bil sprejet več kot šest mesecev po kapi, torej v kronični fazi. Ob

sprejemu je bila v nevrološkem statusu udov prisotna tetrapareza, z nekoliko bolj izraženo okvaro po desni strani; je desničar. Gospod samostojno hodi s pomočjo nordijskih palic, v dnevnih aktivnostih je samostojen, vendar potrebuje več časa kot pred kapjo. Zaradi težav na področju motoričnih spretnosti (poravnave, seganja, koordiniranja, manipuliranja, tekočega gibanja in moči) ima težave pri britju in pisanju z desnico. Pred kapjo je bil gospod v prostem času telesno aktiven, obiskoval je fitness, kolesaril in opravljal različna hišna opravila.

Med rehabilitacijo v URI – Soča je bil gospod 5-krat tedensko po 45 minut vključen v standardno delovnoterapevtsko in fizioterapevtsko obravnavo. Delovnoterapevtska obravnavo je bila načrtovana na podlagi problemov v izvajanju dejavnosti/aktivnosti, ki jih je gospod izpostavil v Kanadski metodi za ocenjevanje izvajanja dejavnosti (COPM) in na podlagi izvedenih standardiziranih ocenjevalnih instrumentov, opisanih v nadaljevanju. Delovnoterapevtska obravnavo je bila sestavljena iz pripravljanih aktivnosti, katerih namen je pripraviti posameznika na izvajanje aktivnosti in aktivacija sklepov zgornjega uda, in iz namenskih aktivnosti, pomembnih v vsakdanjem življenju posameznika. Med obravnavo je delovni terapevt preko razvojno-nevrološkega pristopa vplival na poravnavo trupa in pravilno izvedbo gibalnih vzorcev, s čimer so se zmanjšali kompenzatorni gibalni vzorci. Gospod je bil dodatno trikrat tedensko po 45 minut (skupno 15 obravnav) vključen tudi v robotsko podprto vadbo desnega zgornjega uda na napravi Armeo Spring® (Hocoma AG, Volketswil, Switzerland, 2018).

Ocenjevalni inštrumenti

Ob začetku in koncu delovnoterapevtske obravnave smo izvedli naslednja klinična ocenjevanja: COPM (12), Southamptonski test za ocenjevanje roke (SHAP) (13) in Vprašalnik za ocenjevanje motorične dejavnosti (*angl.* Motor Activity Log - MAL) (14).

Protokol izvajanja obravnav na napravi Armeo Spring®

Obravnave na napravi Armeo Spring® smo izvajali pet tednov trikrat tedensko po 45 minut. Za skupno 15 obravnav smo se odločili, ker se je število obravnav pri večini raziskav, ki so preučevale vpliv naprave Armeo Spring® na osebe po možganski kapi, gibalo od 10 do 15 obravnav (15-19). Na dan prve obravnave smo napravo Armeo Spring® prilagodili glede na bolnika.

Pred izvajanjem obravnav je bil sestavljen terapevtski načrt. Pri tem smo določili, katere naloge bo med obravnavami bolnik izvajal, kakšen bo njihov vrstni red in zahtevnost. Pri izbiranju nalog smo bili pozorni na rezultate SHAP testa in rezultate COPMa. Od izpostavljenih težav pri slednjem smo bili pozorni predvsem na britje, saj je to aktivnost, pri kateri je najbolj pomemben dvig zgornjega uda do obraza. Izbrali smo naloge, ki so vključevale gibe zapestja (dorzalna in palmarna fleksija ter pronacija in supinacija), gibe komolca (fleksija in ekstenzija) in gibe rame (abdukcija in addukcija ter antefleksija in retrofleksija) ter prijem. Naloge, ki smo jih izbrali, so ciljale na izboljšanje obsega gibov v eni ali dveh razsežnostih, koordinacijo gibanja zgornjega uda in funkcijo prijema. Terapevtski načrt je bil sestavljen iz 11 nalog, ki so trajale po dve ali tri minute.

Med izvajanjem obravnave na napravi Armeo Spring® smo sprti beležili rezultate vsake naloge. Beležili smo, koliko zvezdic je bolnik dosegel in koliko točk je zbral. Kadar je dva dni zaporedoma dosegel maksimalno število zvezdic oz. maksimalno število točk, smo zahtevnost spremenili za eno stopnjo. Ob dosegu najvišje stopnje je bolnik nalogo do konca obravnav nadaljeval na tej stopnji. Če smo opazili, da nekatere naloge postajajo za bolnika preveč enostavne, smo zmanjšali še podporo.

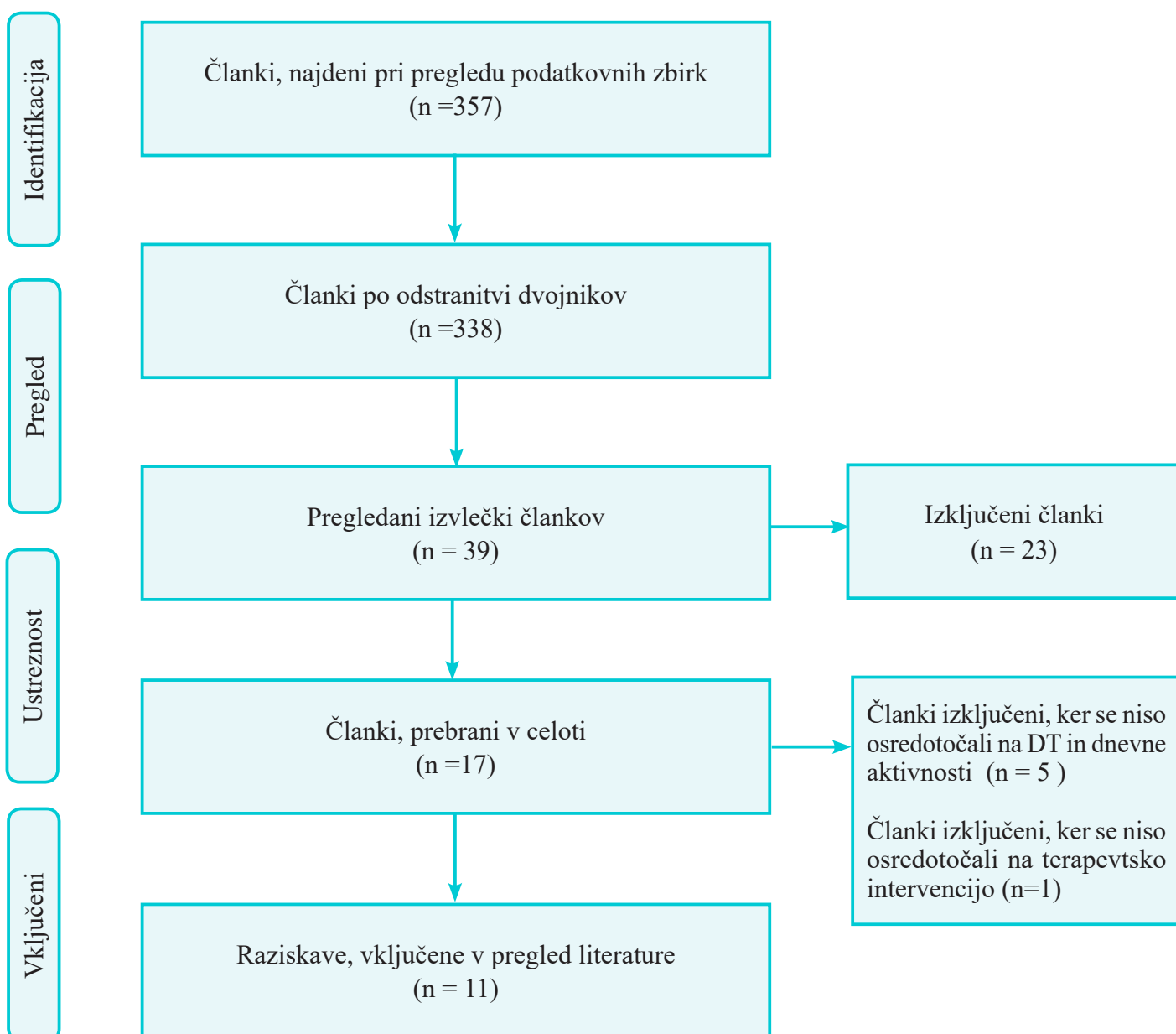
REZULTATI

Rezultati pregleda literature

Pri pregledu podatkovnih zbirk smo našli 357 virov (Medline=29, OTseeker=74, CINAHL= 236, CENTRAL=16, PEDRO=2). Po izločitvi dvojnikov je ostalo 338 člankov. Pregledali smo vse

naslove; če je obstajal dvom, pa tudi izvlečke, in tako izključili 299 člankov. Ostalo je 39 člankov, pri katerih je bil natančno pregledan izvleček, da bi ugotovili, če raziskava ustreza našim vključitvenim merilom. Izključenih je bilo 23 člankov, ki niso specifično omenjali delovne terapije in so bili usmerjeni le na raven okvare (n=21) ali pa niso bili dostopni v celoti (n=2). Preostalo je 19 člankov, ki so bili prebrani v celoti. Izločili smo še 6 člankov, in sicer pet, ker niso bili specifični za delovno terapijo in v nobeni fazi niso omenjali uporabe namenskih aktivnosti, enega pa zato, ker ni opisoval intervencije z robotsko napravo, temveč le izkušnje delovnih terapevtov z uporabo robotskih naprav.

V končno analizo je bilo tako vključenih 11 kvantitativnih študij, ki so opisovale uporabo robotskih naprav v nevrorehabilitaciji zgornjega uda na področju delovne terapije in so se osredotočale na učinkovitost teh naprav pri izboljševanju funkcije zgornjega uda in izvajanju dnevnih aktivnosti.



Slika 1: Strategija iskanja člankov.

Figure 1: Prisma flow diagram of the search strategy.

Tabela 1: Članki, vključeni v pregled literature.

Table 1: Studies included in the literature review.

Avtorji, leto/ Author, year	Metodologija/ Methodology	Namen/Purpose	Intervencija/Intervention	Ocenevalni instrumenti/ Assessment tools	Izsledki/rezultati/zaključki Findings/Results/Conclusions
Iwamoto s sod., 2019 (20)	Randomizirana študija, 12 bolnikov po kapi	Preveriti, ali uporaba robota za zgomiji ud (HAL - SJ) v kombinaciji z DT izboljša izvajanje dnevni aktivnosti.	Rob. terapija: 40 minut na dan, 200 ponovitev (flex. ekst. komolca) DT- Training dnevni aktivnosti (hranjenje, oblačenje, umivanje, uporaba stranišča).	MI, Izometrična moč cilindričnega prijema, MAS, BI, FIM, MAL	Kombinacija robotna HALSJ in delovne terapije izboljša izvajanje dnevni aktivnosti (predvsem oblačenja) in uporabo zgornjega uda v dnevni življenju.
Lee, Lee, & Lee, 2018 (21)	Randomizirana študija, 30 bolnikov po kapi (hemiplegija) 8 tednov, 30 minut	Ugotoviti vpliv terapije z robotom (REJOYCE ROBOT) na funkcijo zgornjega uda in izvajanje dnevni aktivnosti ter primerjava s klasično DT.	Rob. terapija: Gibanje v prostoru z razbremenitvijo. DT – pripravljale aktivnosti za izboljšanje položaja trupa, povečanje moči in obsega gibljivosti, trening fine motorike.	FMA, BI	Kombinacija terapije z robotom in delovne terapije lahko izboljša funkcijo zg. uda in izvajanje dnevni aktivnosti (predvsem hranjenja, oblačenja, uporabe stranišča). Boljši rezultati pri kombinaciji robotike in DT v primerjavi s klasično DT.
Orihuela-Espina s sod., 2016 (22)	Randomizirana pre-post študija, 17 bolnikov po kapi (subakutna faza). 5-krat na teden, 40 obravnav, 40 minut.	Primerjati klasično DT s terapijo, ki vključuje robotna (robot Amadeus, Tyromotion).	Rob. terapija prstov: 300 pasivni gibov, 300 asistiran gibov, 100 aktivni gibov (700 ponovitev). DT - okupacijska delovna terapija + masaža + trening fine motorike	FMA, MI	Terapija z robotom se je izkazala za bolj učinkovito v primerjavi z DT. Terapija z robotom se priporoča pri bolnikih v subakutni fazi po kapi.
Wan-Wen s sod., 2012 (23)	Randomizirana kontrolirana študija, 20 bolnikov po kapi (kronična faza), 20 obravnav, 90 – 105 minut, 5-krat na teden.	Primerjati terapijo, ki vključuje robotsko napravo (Bi-Manu- Track), s klasično DT.	Rob. terapija: Gibanje celotne roke, pasivni gibi, aktivni gibi in gibi proti uporu. 600 do 800 ponovitev. DT - funkcionalna delovna terapija. Training dnevni aktivnosti (hranjenje, oblačenje, umivanje, uporaba stranišča, uporaba telefona, listanje knjige, kuhanje).	FMA, FIM, MAL, ABIL-HAND	Terapija z robotom v kombinaciji s treningom funkcionalni aktivnosti se je izkazala za bolj učinkovito v primerjavi s klasično DT.
Hsieh s sod., 2017 (24)	Randomizirana kontrolirana študija, 31 bolnikov po kapi (subakutna faza). 90 minut, 5 dni 4- krat na teden, 20 obravnav, 40 – 45 minut.	Primerjati terapijo, ki vključuje robotsko napravo (Bi-Manu- Track), s klasično DT.	Rob. terapija: Pasivno in aktivno gibanje zapestja (pron. supi., flex. ekst.) 1200 do 1600 ponovitev. DT: aktivnosti seganja, prijetanja (pincetni, cilindrični prijem), Training fine motorike (premikanje valjev, kock, kartj).	FMA, izometrična moč cilindričnega prijema, BBT, mPS, FIM, pospeškometer, SIS	Terapija z robotom v kombinaciji s treningom funkcionalni aktivnosti se je izkazala za bolj učinkovito v primerjavi s klasično DT. Uporaba robotske naprave je lahko priprava na trening dnevni aktivnosti.
Dimkić Tomić s sod., 2017 (25)	Randomizirana študija, 26 bolnikov po kapi (subakutna faza). 30 minut, 15 obravnav, 5 dni v tednu.	Primerjati terapijo, ki vključuje robotsko napravo (ArmAssist), s klasično DT.	Rob. terapija: gibanje celotnega zg. uda (pasivno in aktivno), 120-150 ponovitev. DT + FT : Gibanje celotne roke, pasivni gibi, aktivni in gibi proti uporu, trening ravnotežja.	FMA, WMFT, BI	Eksperimentalna skupina je dosegla večje izboljšanje motorične funkcije, na testu aktivnosti (Barthel Index) pa ni bilo razlik.

<p>Klamroth-Marganska s sod., 2014 (26)</p>	<p>Randomizirana kontrolirana študija, 73 bolnikov po kapi (kronična faza). 8 tednov, 24 obravnav, 45 minut.</p>	<p>Primerjati terapijo, ki vključuje robotsko napravo (robot ARMIn), s klasično nevrorehabilitacijo (DT in FT).</p>	<p>Rob. terapija: Gibanje v prostoru z razbremenitvijo. DT – pripravljale aktivnosti za izboljšanje položaja trupa, povečanje moči in obsega gibljivosti, trening fine motorike.</p>	<p>FMA, MAS, WMFT, SIS, GAS, MAL</p>	<p>Terapija z robotsko napravo se je izkazala za bolj učinkovito pri zmanjševanju okvare v primerjavi s klasično nevrorehabilitacijo. Vendar pa je kontrolna skupina 4 tedne po koncu terapije dosegla eksperimentalno skupino, kar lahko nakazuje, da učinki rehabilitacije z robotom niso bili trajni.</p>
<p>Timmermans s sod., 2014 (27)</p>	<p>Randomizirana kontrolirana študija, 22 pacientov po kapi (kronična faza). 8 tednov, 4 dni, 30 minut.</p>	<p>Rehabilitacija, ki vključuje robotsko napravo (Haptic Master), in se osredotoča na trening funkcionalnih aktivnosti in primerjava s treningom funkcionalnih aktivnosti brez uporabe robota.</p>	<p>Izvajanje aktivnosti prenašanja kozarca s pomočjo robota ali brez.</p>	<p>FMA, ARAT, MAL</p>	<p>Obe skupini sta se izboljšali, vendar pa med eksperimentalno in kontrolno skupino ni bilo zaznati pomembnih razlik na področju funkcije, aktivnosti in kakovosti življenja. Uporaba robotskih naprav ni nujno učinkovita pri pacientih, ki so že visoko funkcionalni.</p>
<p>Page, Hill, & White, 2013 (28)</p>	<p>Randomizirana študija, 16 bolnikov po kapi (kronična faza). 3-krat na teden, skupaj 8 tednov, po 30 minut.</p>	<p>Preveriti učinkovitost treninga zg. uda, ki vključuje robotsko napravo (Myomo), s treningom brez naprave.</p>	<p>Aktivnosti so vsebovale gibanje na področju komponent mišične kontrole, koordinacije, moči, vzdržljivosti, propriocepcije.</p>	<p>FMA, COPM, SIS</p>	<p>Med skupinama ni bilo pomembnih razlik.</p>
<p>Wu s sod. (29)</p>	<p>Randomizirana kontrolirana študija, 53 bolnikov po kapi. 3 mesece, 90 – 105 minut, 4-krat na teden.</p>	<p>Primerjava med unilateralnim in bilateralnim treningom z uporabo robotske naprave (Bi-Manu-Track) in prenos v dnevne aktivnosti.</p>	<p>Trije protokoli: Unilateralno ter bilateralno gibanje celotnega zg. uda, pasivni gibi, aktivni in gibi proti uporabi. 300 do 400 ponovitev. Tretji protokol, gibanje brez pomoči robota. Dodani trening fine motorike kot tudi aktivnosti za trening ravnotežja.</p>	<p>FMA, MAL, ABILHAND</p>	<p>Pri obeh oblikah vadbe je bila zabeležena izboljšava gibanja in motorike, vendar ni bilo učinka na izvedbo aktivnosti.</p>
<p>Kutner s sod., 2010 (30)</p>	<p>Randomizirana klinična študija, 17 bolnikov po kapi. Skupaj 60 ur; 9 tednov.</p>	<p>Preveriti vpliv treninga zg. uda, ki vključuje robotsko napravo (Hand Mentor), na kakovost življenja in primerjava s treningom zg. uda brez naprave (repetitivna vadba preko namenskih aktivnosti).</p>	<p>Aktivnosti so vsebovale gibanje na področju komponent mišične kontrole, koordinacije, moči, vzdržljivosti, propriocepcije.</p>	<p>SIS</p>	<p>Pri obeh skupinah so bile zabeležene statistično pomembne spremembe na področju funkcije in izvajanja aktivnosti.</p>

Legenda/Legend: MI - Indeks motoričnih funkcij/Motricity index; MAS - Ashworthova lestvica/ Modified Ashworth Scale; BI - Indeks Barthelove/Barthel Index; FIM - Lestvica funkcijske neodvisnosti/Functional Independence Measure; MAL - Ocena motorične dejavnosti/Motor Activity Log; FMA – Fugl Meyerjeva lestvica/Fugl-Meyer Assessment; ABILHAND - Test za oceno funkcije roke/ABILHAND (measure of manual ability for adults with upper limb impairment); BBT - Test s škatlo in koko/Box and Block Test; mRS - Rankinova lestvica/ Modified Rankin Scale; SIS - Merilo vpliva možganske kapi/Stroke Impact Scale; WMFT - Wolfov test motoričnih funkcij/Wolf Motor Function Test; GAS - Lestvica doseganja ciljev/Goal Attainment Scale; ARAT - Funkcijski test zgomilnega uda/Action Research Arm Test; COPM - Kanadska metoda izvajanja dejavnosti/Canadian Occupational Performance Measure; SHAP - Southamptonski test za ocenjevanje roke/ Southampton Hand Assessment Procedure.

Značilnosti vključenih študij

Tabela 1 predstavlja vse raziskave, vključene v pregled literature (20–30). Kljub temu, da smo iskali študije z različnih področij nevrorehabilitacije, so vsi vključeni članki obravnavali bolnike po možganski kapi.

Pri podrobnem prebiranju in analiziranju člankov smo rezultate razvrstili v štiri tematske sklope, in sicer: (1) Kombinacija pristopov, (2) Vpliv na izvajanje dnevnih aktivnosti, (3) Primerjava s klasično delovno terapijo, (4) Značilnosti bolnikov in robotskih naprav. V nadaljevanju sledi kratek opis posameznih tem v povezavi z našima raziskovalnima vprašanjema.

Kombinacija pristopov in primerjava s klasično delovno terapijo

Študije, ki smo jih vključili v pregled, kažejo najboljše rezultate pri sočasni uporabi robotskih naprav in delovne terapije (20, 21, 23, 24, 28,30). Robotske naprave navadno niso mišljene kot nadomestilo, pač pa dopolnilo klasični delovni terapiji. Študija, ki so jo izvedli Orihuela-Espina in sodelavci (22), je sicer v eksperimentalni skupini uporabljala samo robota (ni bilo kombinacije pristopov) in pokazala večjo učinkovitost v primerjavi s klasično delovno terapijo, vendar pa je bila opisana delovna terapija samo na ravni okvare (pasivno raztezanje, vaje za prijem) in ni vključevala uporabe namenskih aktivnosti; torej je vprašljivo, kako terapevtski je bil njen učinek. Vse študije so zaznale izboljšave v eksperimentalni in kontrolni skupini, vendar pa med skupinama ni bilo vedno pomembnih razlik. Na primer Timmermans in sodelavci (27), Page, Hill in White (28) ter Kutner in sodelavci (30) niso našli statistično značilnih razlik med skupino, ki je imela delovno terapijo v kombinaciji z robotom, in skupino, ki je imela samo delovno terapijo. Klamroth-Marganska in sodelavci (26) so ob koncu terapije z robotom to sicer ocenili kot bolj učinkovito, vendar pa je skupina, ki je imela le delovnoterapevtsko obravnavo, v štirih tednih dosegla enake rezultate kot skupina z robotiko, s čimer se je razlika med skupinama izničila. To izpostavlja pomen opazovanja trajnega učinka obravnave in nakazuje, da uporaba robotov ni nujno bolj učinkovita pri longitudinalnem pogledu.

Vpliv na izvajanje aktivnosti

Iwamoto in sodelavci (20) ter Lee, Lee in Lee (21) so pokazali, da uporaba robotov lahko izboljša izvajanje nekaterih dnevnih aktivnosti. Hsieh in sodelavci (24) tudi priporočajo uporabo robotske naprave kot priprave na trening dnevnih aktivnosti. Tomić in sodelavci (25), Timmermans in sodelavci (27), Wu in sodelavci (29) ter Kutner in sodelavci (30) pa ugotavljajo, da uporaba robotike ni izboljšala rezultatov na testih aktivnosti oziroma ni izboljšala izvajanja dnevnih aktivnosti. Glede na pregledane študije je vprašljivo, če uporaba robotov izboljša izvajanje vsakodnevnih aktivnosti, oziroma če se pridobitve na ravni telesne funkcije prenesejo tudi v vsakodnevno izvajanje aktivnosti.

Značilnosti bolnikov in robotskih naprav

Glede na pregledane članke je potrebno upoštevati tudi vrsto robota, ki se uporablja v rehabilitaciji. V študijah je bilo opisanih 9 različnih robotov za nevrorehabilitacijo zgornjih

udov. Prednost se daje eksoskeletu in robotom, ki omogočajo aktivno razgibanje proti uporabi, medtem ko manjka dokazov za učinkovitost pasivnega razgibanja z robotsko napravo (20, 21).

Vključene študije so se osredotočale na subakutno in kronično fazo rehabilitacije po kapi. Mnenja o tem, v kateri fazi rehabilitacije bo uporaba robota najbolj učinkovita, so deljena. Orihuela-Espina in sodelavci (22) priporočajo uporabo robotike v subakutni fazi. Klamroth Marganska s sodelavci (26) in Wan-Wen (23) s sodelavci pa izpostavljajo, da je nevroplastičnost prisotna tudi v kronični fazi, torej je uporaba robotov indicirana tudi več mesecev ali let po kapi. Timmermans in sodelavci (27) se sprašujejo, če je uporaba robotike manj primerna za bolnike, ki so že visoko funkcionalni.

Rezultati študije primera

COPM je pokazal napredek tako pri percepciji izvedbe izbranih aktivnosti kot tudi pri zadovoljstvu z izvedbo. Razlika med točkami izvedbe pred obravnavo in po njej je bila 3 točke, med točkami zadovoljstva z izvedbo pa 2,5 točke. Napredek je prisoten, saj je razlika večja od dveh točk, kar avtorji testa nakazujejo kot klinično pomembno (12). Izbrane dejavnosti z bolnikovo samooceno so predstavljene v Tabeli 2.

Tabela 2: Rezultati Kanadske metode testa izvajanja dejavnosti (COPM).

Table 2: Results of the Canadian Occupational Performance Measure (COPM).

Problemi izvajanja dejavnosti/ Occupational performance problems	Točke izvedbe Scores for performance		Točke zadovoljstva Scores for satisfaction	
	Pred	Po	Pred	Po
Britje/Shaving	5	9	5	9
Pisanje/ Writing	7	9	7	8
Povprečna vrednost/ Average value	6	9	6	8,5

Vprašalnik za ocenjevanje motorične dejavnosti (MAL) je pokazal manjšo spremembo v količini in kakovosti uporabe prizadetega zgornjega uda v vsakodnevnem življenju. Razlika med povprečno oceno količine uporabe je bila 0,5 točke, razlika med povprečno oceno kakovosti uporabe pa 0,4 točke (Tabela 3). Lahko rečemo, da je bolnik v količini uporabe prizadetega zgornjega uda napredoval, saj so Van der Lee in sodelavci (31) v raziskavi ugotovili, da pri bolnikih v kronični fazi po možganski kapi razlika 0,5 točke predstavlja klinično pomembno razliko.

Rezultati SHAP testa so pokazali izboljšanje tako skupnega indeksa (Tabela 4) kot tudi vseh prijemov v obeh rokah. Kljub opaznemu izboljšanju pa je skupna ocena indeksa desne roke nižja od meje za normalno funkcioniranje rok, in sicer se za normalno

funkcioniranje šteje ocena 95 in več. Nižje ocenjeni prijemi z desno roko so bili triprstni prijem, cilindrični in pincetni prijem, kar je primerljivo tudi z rezultati retrospektivne raziskave, ki sta jo leta 2015 pri bolnikih po možganski kapi izvedli Goljar in Kotnik (32).

Tabela 3: Rezultati ocenjevanja motorične dejavnosti (MAL).

Table 3: Results of the Motor Activity Log (MAL).

Ocenjevanje/ Scoring	Pred obravnavo/ Before treatment		Po obravnavi/ After treatment	
	Količina uporabe	Kakovost uporabe	Količina uporabe	Kakovost uporabe
MAL	4,1	3,7	4,6	4,1

Tabela 4: Rezultati Southamptonskega testa za ocenjevanje roke (SHAP).

Table 4: Results of the Southampton Hand Assessment Procedure (SHAP).

Skupna ocena indeksa funkcije roke/ Combined upper extremity score	Pred obravnavo/ Before treatment		Po obravnavi/ After treatment	
	desna	leva	desna	leva
	84	94	92	97

Kinematični parametri aktivnega giba zgornje okončine

Ocenjevanje kinematičnih parametrov gibanja zgornje okončine, ki jih omogoča naprava Armeo Spring®, je pokazala izboljšanje gibanja v rami, komolcu ter minimalno v zapestju. V rami je bolnik pridobil 10 stopinj v aktivnem flektornem in ekstenzornem gibu ter 12 stopinj v ad/abdukcijskem gibu. Največji napredek se je pojavil pri notranji in zunanji rotaciji, kjer se je aktivni gib povečal za 40 stopinj. Fleksija v komolcu se je ob aktivnem gibu izboljšala za 20 stopinj. Pri pronaciji/supinaciji in gibanju v zapestju ni bilo zaznanih sprememb. Gibi so bili izmerjeni ob 60-odstotnem odvzemu teže zgornjega uda. Težavnost v t.i. »igrah« smo postopoma povečevali in bolnik je pri nekaterih prišel do maksimuma ob isti razbremenitvi, kar dodatno nakazuje na napredek v gibanju, povezan predvsem z mišično močjo in izboljšanjem motoričnih spretnosti.

Napredek v rezultatih COPM – a (Tabela 2) nakazuje, da delovnoterapevtska obravnava v kombinaciji z robotsko podprtim gibanjem lahko izboljša izvajanje dnevnih aktivnosti.

RAZPRAVLJANJE

V tem članku smo predstavili raziskave, ki so obravnavale uporabo in učinkovitost robotskih naprav v nevrorehabilitaciji zgornjega

uda z vidika delovne terapije ter opisali študijo primera, ki je prikazala kombinacijo standardne delovnoterapevtske obravnave in z robotom podprte obravnave. Rezultati naše študije primera potrjujejo, da je sočasna uporaba robotskih naprav in delovne terapije lahko učinkovita in prinese izboljšanje na področju izvajanja za posameznika pomembnih aktivnosti.

Robotska naprava lahko dopolnjuje klasično terapijo, vendar pa zahteva kompetence strokovnjaka, ki mora obravnavo ustrezno usmerjati. Med delovnoterapevtsko obravnavo, podprto z robotskih gibanjem, lahko nepričakovana sila, ustvarjena pri sodelovanju človek-naprava, zmanjša raven gladkosti giba in zato sproži nepravilni senzorni vnos, ki je ključen za učenje pravilnega gibanja (33). Ramenski sklep je kompleksen sklep zgornjega uda, ki se giba v več smereh. Težava nastane, ko naprava ne sledi temu gibanju oziroma ga ne dovoljuje, torej ni zagotovljeno pravilno učenje gibanja. Enake težave se lahko pojavljajo pri ostalih sklepih. Cilj terapije je, da gibanje naprave postane identično gibanju človeškega telesa/okončine. Na ta vidik mora biti delovni terapevt še posebej pozoren in biti ustrezno usposobljen, da to komponento robotske obravnave pravilno oceni (34).

Naslednji vidik z robotom podprte obravnave je bolnikova varnost. Med gibanjem v eksoskeletu se pri bolniku lahko pojavi mišični krč ali bolečina. V tem primeru bi morala naprava samodejno ustaviti gibanje, česar pa vse naprave ne zagotavljajo. Vidik varnosti in s tem povezanih protokolov je izpostavila tudi raziskava, ki so jo izvedli Falzarano in sodelavci (35). Avtorji so zaključili, da robotske vadbe ni priporočljivo izvajati brez nadzora. Vseeno je pomembna ugotovitev, da nobena od študij, ki so bile vključene v pregled literature, ni zabeležila večjih neželenih učinkov uporabe robotskih naprav, torej je njihova uporaba po vsej verjetnosti varna za bolnike, ki so pod stalnim nadzorom strokovnega osebja.

Kar zadeva rezultate preteklih kliničnih raziskav, je bilo nekaj raziskav, ki so neposredno obravnavale časovno in prostorsko gibanje v sklepih. Do zdaj je bil v randomiziranem kontroliranem kliničnem preskušanju (RCT) testiran le eksoskelet ARMin IV (26). Bolniki so med kronično fazo možganske kapi (> 6 mesecev) opravili 45 minut robotske terapije 3-krat na teden, 8 tednov. Rezultati so pokazali statistično pomembno izboljšanje ocene Fugl-Meyer. Težava je v tem, da se pozitiven učinek skozi čas ni ohranil. Ta rezultat je podoben kliničnemu preizkušanju sistema TWrex (komercialno ime: Armeo Spring®), ki ni motoriziran, vendar uporablja sistem vzmeti za pomoč pri gibanju roke (36). Relativno slabi rezultati teh dveh raziskav so lahko posledica kronične faze hemipareze ali omejeno kratkega trajanja terapije. Vsekakor pa izpostavljajo pomen opazovanja trajnega učinka obravnave in pomanjkanja dokazov za dolgotrajno učinkovitost robotske vadbe.

Metodološka kakovost študij, vključenih v pregled literature, je bila precej nizka, saj je malo RCT študij. Da bi zmanjšali sistematično pristranskost in da bi bili rezultati zanesljivi, bi morale biti študije čim višje glede na metodološko kakovost, na primer RCT z dvojno slepim pristopom, kar pa je seveda težko izvedljivo. Študije so vključevale različne vrste intervencij in bolnike z različnimi

stopnjami okvare, zato je težko primerjati in iskati korelacijske povezave med kinematičnimi parametri in kliničnimi lestvicami. Kljub nizki metodološki kakovosti, nizkemu številu vključenih oseb in težavi pri primerjanju rezultatov lahko kinematični parametri podajo vpogled v oceno motoričnih zmogljivosti oziroma kažejo na napredek v rehabilitaciji, ki jo podpira robotizacija. Težava se pojavi pri stroških, času in razpoložljivosti pacientov. Teh je v večini študij premalo in zato morda ni zanesljivih statističnih dokazov za učinkovitost z robotom podprte vadbe.

ZAKLJUČEK

Rezultati sistematičnega pregleda literature in študije primera kažejo, da je uporaba robotskih naprav za vadbo zgornjega uda lahko dodatna podpora v rehabilitaciji, ki prispeva k boljšemu izidu. Vendar pa jo je potrebno kombinirati z drugimi pristopi in zagotoviti strokovno vodenje obravnave, ki naj bo ciljno usmerjena v izvajanje za bolnika pomembnih aktivnosti. Potrebni bo več študij, ki se osredotočajo na dejavnost in sodelovanje, preden bomo lahko naredili prve zaključke glede učinkovitosti in primernosti uporabe robotike v delovni terapiji. Bistvenega pomena je napredek bolnika v vsakodnevni aktivnostih, kar je pokazala tudi naša študija primera. Med rehabilitacijo je potrebno izvesti celostni pristop za oceno motoričnega okrevanja in uporabiti klinične lestvice za splošno oceno pred zdravljenjem in po njem ter oceniti napredek na področju dnevnih aktivnosti.

Literatura:

(z * so označeni članki, ki so vključeni v pregled literature)

- Wall A, Borg J, Palmcrantz S. Clinical application of the Hybrid Assistive Limb (HAL) for gait training - a systematic review. *Front Syst Neurosci*. 2015; 9: 48.
- Weber LM, Stein J. The use of robots in stroke rehabilitation: a narrative review. *NeuroRehabilitation*. 2018; 43(1): 99-110.
- Speth, F. The role of sound in robot-assisted hand function training post stroke [doktorsko delo]. Berlin: Faculty of Humanities and Social Sciences; 2016.
- Kwakkel G, Kollen BJ, Krebs HI. Effects of robot-assisted therapy on upper-limb recovery after stroke: a systematic review. *Neurorehabil Neural Repair*. 2008; 22(2): 111-21.
- Bertani R, Melegari C, De Cola MC, Bramanti A, Bramanti P, Calabro RS. Effects of robot assisted upper limb rehabilitation in stroke patients: a systematic review with meta-analysis. *Neurol Sci*. 2017; 38(9): 1561-9.
- Veerbeek JM, Langbroek-Amersfoort AC, van Wegen EE, Meskers CG, Kwakkel G. Effects of robot-assisted therapy for the upper limb after stroke. *Neurorehabil Neural Repair*. 2017; 31(2): 107-21.
- Ju Y, Yoon IJ. The effects of modified constraint-induced movement therapy and mirror therapy on upper extremity function and its influence on activities of daily living. *J Phys Ther Sci*. 2018; 30(1): 77-81.
- Wu C, Yang C, Chuang LL, Lin KC, Chen HC, Chen MD, et al. Effect of therapist-based versus robot-assisted bilateral arm training on motor control, functional performance, and quality of life after chronic stroke: a clinical trial. *Phys Ther*. 2012; 92(8): 1006-16.
- Higgins J, Thomas J, eds. *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions: version 6, 2019*. Dostopno na: <https://training.cochrane.org/handbook/current> (citirano 1. 10. 2019).
- Papaioannou D, Sutton A, Carroll C, Booth A, Wong R. Literature searching for social science systematic reviews: consideration of a range of search techniques. *Health Info Libr J*. 2010; 27(2): 114-22.
- Keilhofner G. *Conceptual foundation of occupational therapy practice*. 4th ed. Philadelphia: F. A. Davis; 2009.
- Carswell A, McColl MA, Baptiste S, Law M, Polatajko H, Pollock N. Canadian occupational performance measure. *Can J Occup Ther*. 2004; 71(4): 210-22.
- Light CM, Chappell PH, Kyberd PJ. Establishing a standardized clinical assessment tool of pathologic and prosthetic hand function: normative data, reliability, and validity. *Arch Phys Med Rehabil*. 2002; 83(6): 776-83.
- Uswatte G, Taub E, Morris D, Vignolo M, McCulloch K. Reliability and validity of the upper-extremity Motor Activity Log-14 for measuring real-world arm use. *Stroke*. 2005; 36(11): 2493-6.
- Bartolo M, De Nunzio AM, Sebastiano F, Spicciato F, Tortola P, Nilsson J, et al. Arm weight support training improves functional motor outcome and movement smoothness after stroke. *Funct Neurol*. 2014; 29(1): 15-21.
- Büsching I, Sehle A, Stürner J, Liepert J. Using an upper extremity exoskeleton for semi-autonomous exercise during inpatient neurological rehabilitation - a pilot study. *J Neuroeng Rehabil*. 2018; 15(1): 72.
- Chan IH, Fong KN, Chan DY, Wang AQ, Cheng EK, Chau PH, et al. Effects of arm weight support training to promote recovery of upper limb function for subacute patients after stroke with different levels of arm impairments. *Biomed Res Int*. 2016; 2016: 9346374.
- Daunoraviciene K, Adomaviciene A, Grigonyte A, Griškevičius J, Juocevicius A. Effects of robot-assisted training on upper limb functional recovery during the rehabilitation of poststroke patients. *Technol Health Care*. 2018; 26(S2): 533-42.
- Hamzah N, Giban NI, Mazlan M. Robotic upper limb rehabilitation using Armeo Spring for chronic stroke patients at University Malaya Medical Centre (UMMC). In: 2nd International Conference for innovation in biomedical engineering and life sciences: IFMBE proceedings. 2018; 67: 225-30.
- *Iwamoto Y, Imura T, Suzukawa T, Fukuyama H, Ishii T, Taki S, et al. Combination of exoskeletal upper limb robot and occupational therapy improve activities of daily living function in acute stroke patients. *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2019; 28(7): 2018-25.
- *Lee MJ, Lee JH, Lee SM. Effects of robot-assisted therapy on upper extremity function and activities of daily living in hemiplegic patients: a single-blinded, randomized, controlled trial. *Technol Health Care*. 2018; 26(4): 659-66.
- *Orihuela-Espina F, Roldán GF, Sánchez-Villavicencio I, Palafox L, Leder R, Sucar LE, et al. Robot training for hand motor recovery in subacute stroke patients: a randomized controlled trial. *J Hand Ther*. 2016; 29(1): 51-7.
- *Liao WW, Wu CY, Hsieh YW, Lin KC, Chang WY. Effects of robot-assisted upper limb rehabilitation on daily function and real-world arm activity in patients with chronic stroke: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil*. 2012; 26(2): 111-20.
- *Hsieh YW, Wu CY, Wang WE, Link KC, Chang KC, Chen CC, et al. Bilateral robotic priming before task-oriented approach in subacute stroke rehabilitation: a pilot randomized controlled trial. *Clin Rehabil*. 2017; 31(2): 225-33.

25. *Tomić TJ, Savić AM, Vidaković AS, Rodić SZ, Isaković MS, Rodriguez-de Pablo C, et al. ArmAssist robotic system versus matched conventional therapy for poststroke upper limb rehabilitation: a randomized clinical trial. *Biomed Res Int.* 2017; 2017: 7659893.
26. *Klamroth-Marganska V, Blanco J, Campen K, Curt A, Dietz V, Ettl T, et al. Three-dimensional, task-specific robot therapy of the arm after stroke: a multicentre, parallel-group randomised trial. *Lancet Neurol.* 2014; 13(2): 159-66.
27. *Timmermans AA, Lemmens RJ, Monfrance M, Geers RP, Bakx W, Smeets RJ, et al. Effects of task-oriented robot training on arm function, activity, and quality of life in chronic stroke patients: a randomized controlled trial. *J Neuroeng Rehabil.* 2014; 11: 45.
28. *Page SJ, Hill V, White S. Portable upper extremity robotics is as efficacious as upper extremity rehabilitative therapy: a randomized controlled pilot trial. *Clin Rehabil.* 2013; 27(6): 494-503.
29. *Wu CY, Yang CL, Chen MD, Lin KC, Wu LL. Unilateral versus bilateral robot-assisted rehabilitation on arm-trunk control and functions post stroke: a randomized controlled trial. *J Neuroeng Rehabil.* 2013; 10: 35.
30. *Kutner NG, Zhang R, Butler AJ, Wolf SL, Alberts JL. Quality-of-life change associated with robotic-assisted therapy to improve hand motor function in patients with subacute stroke: a randomized clinical trial. *Phys Ther.* 2010; 90(4): 493-504.
31. van der Lee JH, Wagenaar RC, Lankhorst GJ, Vogelaar TW, Devillé WL, Bouter LM. Forced use of the upper extremity in chronic stroke patients: results from a single-blind randomized clinical trial. *Stroke.* 1999; 30(11): 2369-75.
32. Goljar N, Kotnik S. Ocenjevanje funkcije roke pri bolnikih po možganski kapi s Southamptonskim testom (SHAP). *Rehabilitacija.* 2015; 14(1): 4-10.
33. Chen X, Liu F, Yan Z, Cheng S, Liu X, Li H, et al. Therapeutic effects of sensory input training on motor function rehabilitation after stroke. *Medicine (Baltimore).* 2018; 97(48): e13387.
34. Brady K, Hidler J, Nichols D, Ryerson S. Clinical training and competency guidelines for using robotic devices. *IEEE Int Conf Rehabil Robot.* 2011; 2011: 5975378.
35. Falzarano V, Marini F, Morasso P, Zenzeri J. Devices and protocols for upper limb robot-assisted rehabilitation of children with neuromotor disorders. *Appl Sci.* 2019; 9(13): 2689.
36. Housman SJ, Scott KM, Reinkensmeyer DJ. A randomized controlled trial of gravity-supported, computer-enhanced arm exercise for individuals with severe hemiparesis. *Neurorehabil Neural Repair.* 2009; 23(5): 505-14.