

DOKAZI O UČINKOVITOSTI UPORABE ROBOTA IN NAVIDEZNE RESNIČNOSTI V REHABILITACIJI

EVIDENCE ON EFFICACY OF REHABILITATION ROBOTICS AND VIRTUAL ENVIRONMENT SUPPORTED MOVEMENT IN REHABILITATION

izr. prof. dr. Zlatko Matjačić, univ. dipl. inž. el.

Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije - Soča, Ljubljana

Izvleček

Izhodišča:

Rehabilitacijska robotika in okolja navidezne resničnosti se vedno bolj uveljavljajo pri kliničnem rehabilitacijskem delu, saj pacientom omogočajo večje število ponovitev pri urjenju gibanja, hkrati pa terapevte razbremenjujejo napornega telesnega dela. Zaradi velikih investicijskih stroškov so za dokončno uveljavitev rehabilitacijske robotike ključni dokazi o njeni učinkovitosti.

Metode:

Pregledali smo literaturo, ki poroča o randomiziranih kliničnih poskusih (RKP), v katerih so primerjali učinkovitost rehabilitacijskih robotov oz. okolij navidezne resničnosti z uveljavljenimi terapevtskimi pristopi pri urjenju gibanja.

Rezultati:

Po kriterijih o moči dokazov, povzetih po spletnem portalu »Evidence-Based Review on Stroke Rehabilitation« (www.ebrsr.com), smo ugotovili, da so na ravni dokazov 1a (največja moč dokazov): i.) rehabilitacijski roboti za urjenje gibanja vsaj tako učinkoviti kot uveljavljeni terapevtski pristopi, ii.) rehabilitacijski roboti za urjenje gibanja roke izboljšajo funkcionalnost rame in komolca, nimajo pa pomembnega vpliva na funkcionalnost zapestja, iii.) okolja navidezne resničnosti lahko izboljšajo sposobnosti gibanja paretične roke.

Zaključki:

Rehabilitacijska robotika in okolja navidezne resničnosti imajo velik potencial v procesih fizikalne medicine in rehabilitacije.

Ključne besede:

haptična robotika, navidezna resničnost, z dokazi podprta rehabilitacija

Abstract

Background:

Rehabilitation robotics and virtual environments are being gradually used in clinical rehabilitation environments as they enable higher number of specific movement (mobility or upper limb) repetitions while at the same time relieving physiotherapists from strenuous labor. However, as rehabilitation robotics require relatively high initial investment evidences on its efficacy are crucial for their further wide-spreading.

Methods:

We reviewed literature reporting on randomized clinical trials (RCT) that compared efficacy of rehabilitation robots and virtual environments with conventional therapeutic approaches in the field of mobility and upper limb rehabilitation.

Results:

According to the criteria on the level of evidences adopted by "Evidence-Based Review on Stroke Rehabilitation" (www.ebrsr.com), we established that there are strong (Level 1a) evidences that: i.) Rehabilitation robots for mobility training are as effective as conventional treatment, ii.) Training with robotic devices improves upper extremity functional outcomes and motor outcomes of shoulder and elbow, while do not improve motor outcome of wrist and hand, iii.) Virtual reality treatment can improve motor function in the chronic stage of stroke.

Conclusions:

Rehabilitation robotics and virtual environment technologies have significant potential for the processes of physical medicine and rehabilitation.

Key words:

haptic robotics, virtual reality, evidence-based rehabilitation

UVOD

Možganska kap ter z njo povezane nevrološke okvare zmanjšajo sposobnosti gibanja ljudi ter njihove funkcionalne sposobnosti in so največji dejavnik trajne zmanjšane zmožnosti le-teh, predvsem med starejšim prebivalstvom. Pogostnost prve možganske kapi v EU je približno 1,1 milijona, prevalenca pa je kar 6 milijonov ljudi. Približno 80 % preživelih po možganski kapi ima kronične težave z gibanjem in funkcionalnostjo zgornjega uda, približno polovica vseh preživelih po možganski kapi pa ni sposobnih samostojno opravljati preprostih vsakodnevnih aktivnosti. Posledice nevroloških bolezni oz. poškodb imajo torej vedno večji vpliv na družbo (1).

V prihodnosti lahko pričakujemo močno povečanje potreb po ustreznih terapevtskih orodjih in pristopih, ki bodo v pomoč pri obnavljanju gibalnih sposobnosti pri ljudeh po nevroloških izpadih, kot je možganska kap. Vendar pa sedanji okvir financiranja zdravstvenih sistemov ne dovoljuje ustreznega povečanja zmogljivosti, npr. večjega števila fizioterapevtov, niti povečanja institucionalne infrastrukture, ki bi bila potrebna zaradi naraščajočega števila ljudi, ki potrebujejo ustrezno terapijo. Vedno bolj je jasno, da moramo razvijati rešitve, ki bodo omogočale ustrezno terapijo vse večjemu številu uporabnikov, hkrati pa bodo morale omenjene rešitve omogočati obliko in intenzivnost terapije, ki bo individualno prilagojena. Rehabilitacijska robotika skupaj z okolji navidezne resničnosti (ang. virtual reality – VR) je raziskovalno, industrijsko in klinično področje, ki obeta primerne tehnološke, terapevtske in ekonomske rešitve za vzdržan sistem rehabilitacijske obravnave v prihodnosti.

Rehabilitacijski roboti in okolja VR lahko močno razširijo tako zmožnosti kot tudi zmogljivosti zdravstvenih delavcev, ki izvajajo fizioterapijo in delavno terapijo z osebami po možganski kapi. Tipični rehabilitacijski robot, ki je ustrezno haptično voden, lahko v interakciji s pacientom, le-temu pomaga pri izvedbi zelenega giba, skrbi za to, da so pacienti giba v okviru dovoljenega delovnega prostora ter objektivno vrednoti njegove gibalne zmožnosti. Omenjeno objektivno vrednotenje je zelo pomembno za terapevta, ki na podlagi rezultatov ustrezno spreminja parametre posameznikovega nadaljnjega urjenja, ali pa to stori naprava sama.

Področje rehabilitacijske robotike se je začelo razvijati pred približno 15 leti in je bilo sprva omejeno na raziskovalne laboratorije. Zelo hitro se je izkazalo, da so za tehnološki razvoj rehabilitacijskih robotov potrebni natančni in dragi gradniki, kar pomeni, da so omenjene naprave precej drage in so pomembna investicijska postavka. Zato je bilo potrebno učinke rehabilitacijskih robotov klinično ovrednotiti, da bi lahko tako s strokovnega kot tudi ekonomskega vidika opravičili drage investicije, predvsem v primerjavi z uveljavljenimi terapevtskimi pristopi. Hkrati pa je postalo tudi očitno, da je nadaljnji razvoj rehabilitacijske robotike močno odvisen od ustrezne standardizacije tako naprav samih kot tudi proto-

kolov za urjenje gibanja. Omenjeno pa je mogoče doseči le z razvojem podjetij, ki izdelujejo in prodajajo rehabilitacijske robote. Čeprav je razvoj naprav rehabilitacijske robotike v zadnjih petih letih dosegel velik razmah, saj je bilo na raziskovalnem področju razvito zelo veliko število haptičnih naprav, pa je za doseganje kritične mase števila pacientov, ki so bili vključeni v terapevtske programe rehabilitacijske robotike, odločilno, da so se številni rehabilitacijski centri po vsem svetu odločili za nabavo nekaterih redkih komercialno dosegljivih haptičnih robotov za urjenje gibanja zgornjega uda ter hoje. V zadnjih petih letih je število randomiziranih, kontroliranih in enojno slepih kliničnih študij, v katerih so klinični raziskovalci primerjali učinke vadbe med protokoli z rehabilitacijskimi roboti in protokoli uveljavljenih terapevtskih pristopov, močno naraslo, kar omogoča izvedbo meta študij z velikim številom obravnavanih pacientov in zato imajo večjo težo tudi dokazi o učinkovitosti rehabilitacijske robotike in okolij VR.

V prispevku podajamo pregled metodologije in rezultatov izbranih randomiziranih, kontroliranih poskusov (RKP), ki primerjajo metode rehabilitacijske robotike s konvencionalnim pristopom ponovnega učenja gibanja po možganski kapi. Pregled se v veliki meri opira na spletni portal »Evidence-Based Review on Stroke Rehabilitation« (www.ebrsr.com). Pregled omenjenih študij je razdeljen na tri področja:

- 1.) elektromehanske naprave za urjenje gibanja spodnjih udov,
- 2.) haptični roboti za urjenje gibanja zgornjega uda ter
- 3.) okolja VR za urjenje gibanja zgornjega uda.

PREGLED KLINIČNIH ŠTUDIJ S PODROČJA FIZIKALNE MEDICINE IN REHABILITACIJE Z UPORABO REHABILITACIJSKIH ROBOTOV IN OKOLIJ NAVIDEZNE RESNIČNOSTI

Metodologija ocenjevanja RKP

Randomizirani kontrolirani poskusi so z metodološkega vidika najmočnejše orodje v kliničnih raziskavah, saj večina primerjajo različne terapevtske postopke na statistično neoporečen način, ki ob ustrezni statistični moči omogočajo relevantne zaključke. Čeprav vsi RKP primerjajo katero od novih metod terapije z že uveljavljenimi metodami, pa se lahko metodologija pri posameznih RKP po številnih vidikih močno razlikuje. Randomizirane kontrolirane poskuse, ki jih obravnavamo v tem preglednem članku, smo po metodološki ustreznosti ocenili glede na uveljavljeno lestvico Physiotherapy Evidence Database (PEDro) (www.ebrsr.com). Lestvica PEDro vsebuje deset metodoloških elementov, s katerimi vrednotimo metodološko kakovost RKP:

1. Preiskovanci so bili naključno izbrani v posamezne skupine;
2. Sezname dodeljevanja preiskovancev niso bili vnaprej znani;

3. Skupine preiskovancev so bile podobne ob začetku študije;
4. Študija je bila popolnoma slepa za vse udeležene (terapevte, ocenjevalce, preiskovance);
5. Študija je bila slepa za vse terapevte;
6. Študija je bila slepa za vse ocenjevalce;
7. Ustreznost ocenjevanja po izteku študije (follow-up);
8. Ali je imela študija namen zdravljenja (intention-to-treat);
9. Rezultati statistične primerjave med skupinami so podani za vsaj eno ključno spremenljivko (outcome measure);
10. Študija podaja tako srednje vrednosti kot tudi standardne deviacije za vsaj eno ključno spremenljivko (outcome measure).

Vsak RKP, vrednoten po lestvici PEDro, lahko dobi od 1 do 10 točk glede na skladnost študije s kriteriji po lestvici PEDro. Randomizirani kontrolirani poskusi, ocenjeni s točkami od 9 do 10, so najbolj kakovostni, tisti, ki so ocenjeni s 6-8 točkami, so zelo kakovostni, ocenjeni s 4-5 točkami pa so kakovostni.

Tesno povezane in določene z oceno RKP po lestvici PEDro so tudi ravni dokazov. **Raven dokazov 1a – močni dokazi** – so podprti bodisi z rezultati meta analiz oz. z rezultati vsaj dveh kakovostnih RKP. **Raven dokazov 1b – zmerni dokazi** – so podprti z rezultati vsaj enega RKP.

Randomizirani kontrolirani poskusi na področju uporabe rehabilitacijske robotike za urjenje gibanja – spodnji udi

Randomizirani kontrolirani poskusi z napravo »Gait Trainer«

»Gait Trainer« je naprava, ki osebam v zgodnji fazi rehabilitacije omogoča ciklično, hoji podobno aktivnost obeh spodnjih udov. Naprava ima eno samo stopnjo prostosti, ki jo poganja elektromotor. Obe stopali sta nameščeni v stopalki, ki sta z mehanskimi sklopi povezani z elektromotorjem. Omenjeni mehanski sklopi omogočajo recipročno nastavitev trajanja faz opore in zamaha za oba spodnja uda. Naprava ima tudi mehanski podsklop za delno razbremenitev teže ter sistem vrvi, ki pasivno v različnih fazah cikla hoje pomaga pri prenosu teže.

Pohl in sod. (2) so izvedli do sedaj največji RKP (PEDro - ocena 8), v katerem so 155 oseb po preboleli možganski kapi razdelili v dve skupini: eksperimentalna skupina je vadila hojo z napravo »Gait Trainer«, kontrolna skupina pa je ob terapevtovem vodenju vadila hojo po ravnem. Obe skupini sta vadili štiri tedne, obseg vadbe je bil enak za obe skupini. Eksperimentalna skupina je imela po koncu vadbe pomembno boljšo oceno po lestvici Functional Ambulation Category (FAC), hkrati pa je bil v eksperimentalni skupini po koncu vadbe pomembno večji odstotek oseb, ki so lahko hodile samostojno. Omenjene razlike med skupinama so se ohranile še šest mesecev po končani vadbi.

V nadaljevanju v preglednici (tabela 1) podajamo ugotovitve ostalih RKP, ki so primerjali vadbo z napravo »Gait Trainer« in konvencionalno vadbo hoje.

Randomizirani kontrolirani poskusi z napravo »Lokomat«

»Lokomat« je sistem dveh robotskih ortoz z dvema motoriziranimi stopnjama prostosti, ki delujeta v posameznikovem kolku in kolenu ter omogočata hojo po tekočem traku tudi popolnoma hromi osebi. Računalniški vmesnik omogoča nastavitev različnih kinematičnih vzorcev gibanja kolen in kolfov, medtem ko potrebno dorzalno fleksijo stopal v ustreznem trenutku izvaja sistem pasivnih vzmeti. Kot pri napravi »Gait Trainer« je tudi pri napravi »Lokomat« možno delno razbremeniti težo osebe, ki hodi.

Schwartz in sod. (8) so izvedli do sedaj največji RKP (PEDro - ocena 6), v katerem so 67 oseb po preboleli možganski kapi razdelili v dve skupini: eksperimentalna skupina je vadila hojo z napravo »Lokomat«, kontrolna skupina pa je vadila hojo po ravnem s terapevtovim vodenjem. Obe skupini sta vadili šest tednov, obseg vadbe je bil za obe skupini enak. Eksperimentalna skupina je imela po koncu vadbe pomembno boljšo oceno po lestvici FAC, hkrati pa je bil v eksperimentalni skupini po vadbi tudi pomembno večji odstotek oseb, ki so lahko hodile samostojno. Omenjene razlike med skupinama so se ohranile še šest mesecev po končani vadbi.

V nadaljevanju v preglednici (tabela 2) podajamo ugotovitve ostalih RKP, ki so primerjali vadbo z napravo »Lokomat« in konvencionalno vadbo hoje.

Tabela 1: Povzetek ugotovitev ostalih RKP z napravo »Gait Trainer«; v stolpcu »Rezultat«: + pomeni boljše rezultate v eksperimentalni skupini, % pomeni, da skupini statistično ne odstopata, - pa boljše rezultate v kontrolni skupini.

Avtorji	Ocena po lestvici PEDro	N (število preiskovancev)	Terapija v kontrolni skupini	Glavni test (primary outcome measure)	Rezultat
Werner s sod. (3)	7	30	Hoja po tekočem traku	FAC	+
Tong s sod. (4)	6	46	Konvencionalno urjenje hoje	FAC	+
Peurala s sod. (5)	6	45	Konvencionalno urjenje hoje	Test hoje na 10 m	%
Dias s sod. (6)	6	40	Fizioterapija (Bobathova metoda)	FAC	%
Peurala s sod. (7)	6	56	Konvencionalno urjenje hoje	FAC	%

Tabela 2: Povzetek ugotovitev ostalih RKP z napravo »Lokomat«; v stolpcu »Rezultat«: + pomeni boljše rezultate v eksperimentalni skupini, % pomeni, da skupini statistično ne odstopata, - pa boljše rezultate v kontrolni skupini.

Avtorji	Ocena po lestvici PEDro	N (število preiskovancev)	Terapija v kontrolni skupini	Glavni test (primary outcome measure)	Rezultat
Husemann s sod. [9]	7	30	Hoja po tekočem traku	FAC	%
Mayr s sod. [10]	6	16	Konvencionalno urjenje hoje - [A-B-A in B-A-B študija]	"EU-walking scale"	+
Hornby s sod. [11]	6	48	Hoja po tekočem traku ob podpori 1 fizioterapevta	Hitrost hoje	-
Hidler s sod. [12]	5	63	Konvencionalno urjenje hoje	Hitrost hoje in 6 min test hoje	-
Westlake & Patten [13]	6	16	Hoja po tekočem traku z razbremenitvijo teže	Hitrost hoje	%

Na osnovi rezultatov predstavljenih RKP ter meta študij, ki so jih opravili Mehrholz s sod. (14) in Ada s sod. (15) sedaj med kliničnimi raziskovalci velja soglasje na ravni **dokazov 1a**, da rehabilitacijski roboti za urjenje hoje niso nič bolj učinkoviti kot uveljavljeni terapevtski pristopi oziroma da sta oba pristopa enako učinkovita (www.ebrsr.com).

Randomizirani kontrolirani poskusi na področju uporabe rehabilitacijske robotike za urjenje zgornjega uda

Razvoj rehabilitacijskih robotov za urjenje zgornjega uda je bil v zadnjih desetih letih cilj številnih raziskovalnih skupin. Razvili so veliko število zelo domiselnih naprav, ki omogočajo urjenje doseganja (rama in komolec), urjenje gibanja zapestja ter majhne haptične naprave za urjenje gibanja prstov. Ena od prvih haptičnih naprav za urjenje doseganja nasploh je rehabilitacijski robot »MIT-Manus«, ki ima dve stopnji prostosti in omogoča urjenje gibanja roke v ravnini. Daleč največ RKP je bilo narejenih ravno s to napravo, ki je tudi komercialno dosegljiva in se imenuje »InMotion«. Haptično vodenje robota »MIT-Manus« je skladno s t. i. načinom »assist-as-needed«, kar pomeni, da robot osebi,

ki vadi, le pomaga izvesti gib, in sicer s silo, ki je primerna zmožnostim posameznika za gibanje. Omenjeno gibanje je povezano s preprosto sceno računalniške igre, ki je prikazana na zaslonu, kar dela vadbo z robotom zanimivo.

Lo in sod. (16) so izvedli do sedaj največji RKP (PEDro - ocena 7), v katerem so 127 oseb po preboleli možganski kapi z zmerno oz. težjo ohromelostjo (prizadetostjo) roke (6 mesecev po možganski kapi) razdelili v tri skupine: prva skupina je bila deležna intenzivne terapije z robotom (n=49), druga skupina je intenzivno vadila gibanje s terapevtovo pomočjo (n=50), tretja skupina pa s standardnim terapevtskim pristopom (n=28). Terapija je obsegala 36 enot vadbe, ki so trajale 1 uro, v obdobju 12 tednov. Glavno oceno rezultatov je predstavljal Fugl-Meyerjev test na koncu terapije. Sekundarno oceno rezultatov terapije pa testa »Wolf Motor Function Test« in »Stroke Impact Scale«. Statistična analiza je po koncu terapije pokazala boljši rezultat pri prvi skupini v primerjavi s tretjo ter boljši rezultat druge skupine v primerjavi s prvo.

V nadaljevanju v preglednici (tabela 3) podajamo ugotovitve ostalih RKP, ki so primerjali vadbo z napravo »MIT-Manus« in konvencionalno urjenje doseganja z zgornjim udom.

Tabela 3: Povzetek ugotovitev ostalih RKP z napravo »MIT-Manus«; v stolpcu »Rezultat«: + pomeni boljše rezultate v eksperimentalni skupini, % pomeni, da skupini statistično ne odstopata, - pa boljše rezultate v kontrolni skupini.

Avtorji	Ocena po lestvici PEDro	N (število preiskovancev)	Terapija v kontrolni skupini	Glavni test (primary outcome measure)	Rezultat
Volpe s sod. [17]	6	20	Navidezna terapija (brez terapije)	"Motor Status Score" (rama/komolec)	+
Volpe s sod. [18]	6	56	Gibanje z robotom, vendar brez pomoči	FIM- motorični del	+
Volpe s sod. [19]	5	21	Konvencionalna terapija	Fugl-Meyerjev test	-

Za urjenje gibanja zapestja je na tržišču mogoče dobiti robotsko napravo "Bi-Manu-Track", ki omogoča bilateralno urjenje pronacije/supinacije ter fleksije/ekstenzije zapestja tako v pasivnem kot tudi aktivnem načinu delovanja. Omenjena naprava ni haptično vodena, pač pa v aktivnem

načinu gibanje ohromele (prizadete) strani telesa vodi gibanje neohromele (neprizadete) strani. Hesse in sod. (20) so izvedli RKP (PEDro - ocena 8), v katerem so 44 oseb po preboleli možganski kapi v subakutnem obdobju razdelili v dve skupini: prva skupina je vadila bilateralno pasivno

in aktivno gibanje zapestja z robotom, druga skupina pa je vadila gibanje paretičnih ekstenzornih mišic zapestja z EMG krmiljeno električno stimulacijo. Terapija je trajala 20 minut dnevno, 5 dni v tednu, 6 tednov. Po koncu terapije je prva skupina dosegla boljši rezultat po Fugl-Meyerjevi lestvici.

Na osnovi rezultatov predstavljenih RKP ter meta študij, ki so jih opravili Mehrholz s sod. (21) in Kwakkel s sod. (1) sedaj med kliničnimi raziskovalci velja soglasje na ravni **dokazov 1a**, da rehabilitacijski roboti za gibanje zgornjega uda izboljšujejo funkcionalnost ramena in komolca, funkcije zapestja pa ne (www.ebrsr.com).

Randomizirani kontrolirani poskusi na področju okolij navidezne resničnosti (virtual reality – VR) za urjenje zgornjega uda

Okolje navidezne resničnosti (virtual reality – VR) je tehnologija, ki ljudem omogočajo interakcijo s tri-dimenzionalnimi (3D) okolji. Simulatorji VR uporabljajo 3D očala oz. vizirje ali pa konvencionalne stereo projektorje. Privlačnost okolij VR za potrebe rehabilitacije je v tem, da lahko intenzivnost vadbe-gibanja sistematično spreminjamo na način, ki omogoča optimalen pristop k motoričnemu učenju za vsakega posameznega uporabnika. Gibanje roke posameznika

uporabljamo za izvajanje različnih nalog v okolju VR. Ker s tehnologijo VR ne moremo nuditi haptične sile interakcije, tako kot je to pri rehabilitacijskih robotih, je omenjena tehnologija primerna za zmerno zmanjšano zmožnost gibanja zgornjega uda. Izvedba zanimivih nalog v 3D okolju naj bi bil tisti motivacijski dejavnik, ki naj bi omogočal napredek posameznikovih funkcionalnih sposobnosti celo v kroničnem obdobju po možganski kapi. Posebno uporaben vidik tehnologije VR predstavlja možnost izvedbe takega učnega okolja na domovih uporabnikov.

Piron in sod. (22) so izvedli RKP (PEDro - ocena 7), v katerem so 36 oseb po preboleli možganski kapi z lažjo ohromelostjo (zmanjšano zmožnostjo gibanja) (prizadetostjo) roke razdelili v dve skupini: eksperimentalna skupina pacientov je vadila gibanje roke na svojih domovih z eksperimentalnim okoljem VR, ki je bilo posredovano po medmrežju, kontrolna skupina pa z uveljavljenim terapevtskim pristopom. Urjenje je trajalo 1 uro na dan, 5 dni v tednu, 4 tedne. Glavno oceno rezultatov je predstavljal Fugl-Meyerjev test na koncu terapije. Oba pristopa sta bistveno izboljšala oceno po Fugl-Meyerjevem testu, pri čemer so bili rezultati v eksperimentalni skupini statistično nepomembno boljši.

V nadaljevanju v preglednici (tabela 4) podajamo ugotovitve ostalih RKP, ki so primerjali vadbo v različnih okoljih VR in konvencionalno urjenje doseganja z zgornjim udom.

Tabela 4: Povzetek ugotovitev ostalih RKP v različnih okoljih VR; v stolpcu »Rezultat«: + pomeni boljše rezultate v eksperimentalni skupini, % pomeni, da skupini statistično ne odstopata, - pa boljše rezultate v kontrolni skupini.

Avtorji	Ocena po lestvici PEDro	N (število preiskovancev)	Terapija v kontrolni skupini	Glavni test (primary outcome measure)	Rezultat
Jang s sod. [23]	5	10	Konvencionalna terapija	"Box & Block Test" (BBT)	+
Lam s sod. [24]	4	58	Konvencionalna terapija	MTR (Mass Transit Railway) spretnosti	+
Yavuzer s sod. [25]	6	20	Konvencionalna terapija	FIM- motorični del	+
Saposnik s sod. [26]	7	22	Konvencionalna terapija	"Wolf Motor Score Test"	+

Na osnovi rezultatov predstavljenih RKP sedaj med kliničnimi raziskovalci velja soglasje na ravni **dokazov 1a**, da okolja VR za urjenje gibanja zgornjega uda lahko izboljšajo gibanje zgornjega uda v kroničnem obdobju po možganski kapi (www.ebrsr.com).

ZAKLJUČEK

Razvoj na področju rehabilitacijske robotike in okolij navidezne resničnosti je v zadnjih desetih letih doživel velik razmah. Razvili so številne naprave z uporabo sodobne tehnologije, ki omogočajo izvajanje in vrednotenje gibanja na ponovljiv način. Meritve so kvantitativne in objektivne ter so

skladne s klinično uveljavljenimi lestvicami. Randomizirani klinični poskusi so najbolj verodostojno orodje kliničnih raziskovalcev za vrednotenje teh novih naprav. Pregled RKP v tem prispevku je pokazal, da so le-te po učinkovitosti rehabilitacije primerljive z uveljavljenimi terapevtskimi pristopi v fizioterapiji in delovni terapiji.

Pomembno vlogo pri nadaljnjem razvoju in uveljavljanju rehabilitacijske robotike bodo nedvomno imeli proizvajalci rehabilitacijskih robotov, ki bodo v prihodnosti na tržišču ponudili rehabilitacijske robote s standardiziranimi protokoli urjenja. Šele z velikim številom pacientov, ki bodo vključeni v standardizirane oblike urjenja, bo mogoče potegniti dokončne zaključke o učinkovitosti novih naprav rehabili-

tacijske tehnologije. V tem smislu so v zadnjih desetih letih rehabilitacijski roboti »Lokomat«, »Gait Trainer« in »MIT-Manus« (InMotion) bili rehabilitacijska orodja, katerih učinkovitost je ugotavljala velika večina RKP. Ugotovitve, čeprav še niso dokončne, nedvomno kažejo na učinkovitost rehabilitacijskih robotov in okolij navidezne resničnosti. Kljub temu omenjene naprave v kliničnem okolju niso pogoste. Zato obstaja več razlogov, med drugim tudi še vedno zelo veliki investicijski stroški, ki so povezani z nakupom naprav. Vendar pa je glavni razlog za relativno majhno število naprav rehabilitacijske robotike v kliničnih okoljih nestandardiziranost postopkov urjenja gibanja. Razlog za to je, da so rehabilitacijski roboti zgolj orodje, ki mu morajo izkušeni kliniki vdahnuti primerne protokole uporabe, le-ti pa morajo biti kar najbolj prilagojeni vsakemu posameznemu primeru. Pri tem pa naletimo na protislovje, saj za potrebno statistično moč RKP zahtevamo standardizirano obravnavo vseh preiskovancev, vendar se že sedaj zavedamo, da taka standardizirana obravnavo ne more biti optimalna za vsakega posameznika. Današnja rehabilitacijska tehnologija omogoča haptično okolje, katerega parametre spreminja terapevt, glede na svoje izkušnje in napredovanje vsakega posameznika. Rehabilitacijska tehnologija prihodnosti bo uveljavila adaptivna haptična okolja, ki se bodo glede na napredovanje posameznika samodejno prilagajala in optimizirala tako zahtevnost nalog kot tudi raven haptične pomoči.

Literatura:

1. 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: 111-121.
2. Pohl M, Werner C, Holzgraefe M, Kroczeck G, Mehrholz J, Wingendorf I, et al. Repetitive locomotor training and physiotherapy improve walking and basic activities of daily living after stroke: a single-blind, randomized multicentre trial (Deutsche GANtrainer Studie, DEGAS). *Clin Rehabil* 2007; 21: 17-27.
3. Werner C, von Frankenberg S, Treig T, Konrad M, Hesse S. Treadmill training with partial body weight support and an electromechanical gait trainer for restoration of gait in subacute stroke patients. A randomized crossover study. *Stroke* 2002; 33: 2895-2901.
4. Tong RK, Ng MF, Li LS. Effectiveness of gait training using an electromechanical gait trainer, with and without functional electric stimulation, in subacute stroke: a randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil* 2006; 87: 1298-1304.
5. Peurala SH, Tarkka IM, Pitkanen K, Sivenius J. The effectiveness of body weight-supported gait training and floor walking in patients with chronic stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 2005; 86(8): 1557-1564.
6. Dias D, Lains J, Pereira A, Nunes R, Caldas J, Amaral C, et al. Can we improve gait skills in chronic hemiplegics? A randomised control trial with gait trainer. *Eura Medicophys* 2007; 43(4): 499-504.
7. Peurala SH, Airaksinen O, Huuskonen P, Jakala P, Juhakoski M, Sandell K, et al. Effects of intensive therapy using gait trainer or floor walking exercises early after stroke. *J Rehabil Med* 2009; 41(3): 166-173.
8. Schwartz I, Sajin A, Fisher I, Neeb M, Shochina M, Katz-Leurer M, Meiner Z. The effectiveness of locomotor therapy using robotic-assisted gait training in subacute stroke patients: a randomized controlled trial. *PM R* 2009; 1(6): 516-523.
9. Husemann B, Muller F, Krewer C, Heller S, Koenig E. Effects of locomotion training with assistance of a robot-driven gait orthosis in hemiparetic patients after stroke: a randomized controlled pilot study. *Stroke* 2007; 38: 349-354.
10. Mayr A, Kofler M, Quirbach E, Matzak H, Frohlich K, Saltuari L. Prospective, blinded, randomized crossover study of gait rehabilitation in stroke patients using the Lokomat gait orthosis. *Neurorehabil Neural Repair* 2007; 21: 307-314.
11. Hornby TG, Campbell DD, Kahn JH, Demott T, Moore JL, Roth HR. Enhanced gait-related improvements after therapist- versus robotic-assisted locomotor training in subjects with chronic stroke: a randomized controlled study. *Stroke* 2008; 39: 1786-1792.
12. Hidler J, Nichols D, Pelliccio M, Brady K, Campbell DD, Kahn JH, Hornby TG. Multicenter randomized clinical trial evaluating the effectiveness of the Lokomat in subacute stroke. *Neurorehabil Neural Repair* 2009; 23: 5-13.
13. Westlake KP, Patten C. Pilot study of Lokomat versus manual-assisted treadmill training for locomotor recovery post-stroke. *J Neuroeng Rehabil* 2009; 6: 18.
14. Mehrholz J, Werner C, Kugler J, Pohl M. Electromechanical-assisted training for walking after stroke. *Cochrane Database Syst Rev* 2007; CD006185.
15. Ada L, Dean CM, Vargas J, Ennis S. Mechanically assisted walking with body weight support results in more independent walking than assisted overground walking in non-ambulatory patients early after stroke: a systematic review. *J Physiother* 2010; 56: 153-161.
16. Lo AC, Guarino PD, Richards LG, Haselkorn JK, Wittenberg GF, Federman DG, et al. Robot-assisted therapy

- for long-term upper-limb impairment after stroke. *N Engl J Med* 2010; 362(19): 1772-1783.
17. Volpe BT, Krebs HI, Hogan N, Edelsteinn L, Diels CM, Aisen ML. Robot training enhanced motor outcome in patients with stroke maintained over 3 years. *Neurology* 1999; 53(8): 1874-1876.
 18. Volpe BT, Krebs HI, Hogan N, Edelstein OL, Diels C, Aisen M. A novel approach to stroke rehabilitation: robot-aided sensorimotor stimulation. *Neurology* 2000; 54(10): 1938-1944.
 19. Volpe BT, Lynch D, Rykman-Berland A, Ferraro M, Galgano M, Hogan N, et al. Intensive sensorimotor arm training mediated by therapist or robot improves hemiparesis in patients with chronic stroke. *Neurorehabil Neural Repair* 2008; 22: 305-310.
 20. Hesse S, Werner C, Pohl M, Rueckriem S, Mehrholz J, Lingnau ML. Computerized arm training improves the motor control of the severely affected arm after stroke: a single-blinded randomized trial in two centres. *Stroke* 2005; 36: 1960-1966.
 21. Mehrholz J, Platz T, Kugler J, Pohl M. Electromechanical and robot-assisted arm training for improving arm function and activities of daily living after stroke. *Cochrane Database Syst Rev* 2008; CD006876.
 22. Piron L, Turolla A, Agostini M, Zucconi C, Cortese F, Zampolini M, et al. Exercises for paretic upper limb after stroke: a combined virtual-reality and telemedicine approach. *J Rehabil Med* 2009; 41: 1016-1020.
 23. Jang SH, You SH, Hallett M, Cho YW, Park CM, Cho SH, et al. Cortical reorganization and associated functional motor recovery after virtual reality in patients with chronic stroke: an experimenter-blind preliminary study. *Arch Phys Med Rehabil* 2005; 86(11): 2218-2223.
 24. Lam YS, Man DWK, Tam SF, Weiss PL. Virtual reality training for stroke rehabilitation. *Neurorehabilitation* 2006; 21: 245-253.
 25. Yavuzer G, Senel A, Atay MB, Stam HJ. "Playstation eyetoy games" improve upper extremity-related motor functioning in subacute stroke: a randomized controlled clinical trial. *Eur J Phys Rehabil Med* 2008; 44: 237-244.
 26. Saposnik G, Teasell R, Mamdani M, Hall J, McIlroy W, Cheung D, et al. Effectiveness of virtual reality using Wii gaming technology in stroke rehabilitation: a pilot randomized clinical trial and proof of principle. *Stroke* 2010; 41: 1477-1484.