

Izvirni znanstveni članek ■

Uporaba rehabilitacijskih nalog v navideznem okolju: telerehabilitacija – storitev na daljavo

Application of Rehabilitation Tasks in a Virtual Environment: Telerehabilitation – a Remote Service

Imre Cikajlo

Izveček. Uporaba tehnologije navideznih okolij v rehabilitaciji omogoča izvedbo ciljno usmerjenih nalog. V kombinaciji s sodobnimi telekomunikacijskimi tehnologijami poskušamo vzpostaviti novo storitev – telerehabilitacijo, ki bi omogočila nadaljevanje rehabilitacije na domu bolnika. V članku je predstavljena zasnova potencialne storitve telerehabilitacije in obravnavano vprašanje, ali lahko s telerehabilitacijo dosežemo primerljive rezultate kot s klinično obravnavo, npr. izboljšanje ravnotežja pri preiskovancu po preboleli možganski kapi. Prikazani so rezultati pilotne študije na šestih prostovoljcih, ki kažejo, da je s prikazanim treningom ravnotežja z napravo za dinamično vzdrževanje ravnotežja v domačem okolju možno doseči podobne učinke kot v kliničnem okolju.

Abstract. Application of virtual reality technology in rehabilitation enables development of target-based rehabilitation tasks. Combined with modern telecommunication technology, it is aimed at establishing a novel service called telerehabilitation, which would enable continuation of rehabilitation at subject's home. The paper presents the potential telerehabilitation service using a virtual environment and addresses the issue whether results comparable with clinical rehabilitation can be achieved, such as improvement of balance after stroke. The results of a pilot study on six volunteers indicate that the effects achieved using a dynamic-balance training device in domestic environment can be comparable to those achieved in the clinical setting.

■ **Infor Med Slov:** 2010; 15(2): 2-9

Institucija avtorja: Univerzitetni rehabilitacijski inštitut republike Slovenije – Soča.

Kontaktna oseba: Imre Cikajlo, URI – Soča, Linhartova 51, 1000 Ljubljana. e-pošta: imre.cikajlo@ir-rs.si.

Prejeto: 17.11.2010. Sprejeto: 10.12.2010.

Uvod

Možganska kap je najpogostejši vzrok nevroloških okvar ter posledično motenj gibanja. Za obnovitev bolnikovih funkcijskih sposobnosti je ključnega pomena vzpostavljanje ravnotežja, tako statičnega kot dinamičnega.¹ Ravnotežje lahko definiramo kot zmožnost ohranjanja težišča v gravitacijskem polju z vzdrževanjem ali vrnitvijo projekcije sile teže nad podporno ploskev. Sprememba položaja projekcije sile teže ali podporne ploskve zaradi lastne aktivnosti ali motnje iz okolja zahteva usklajeno delovanje mišic gležnja, kolena, kolka in trupa, da bi se ponovno vzpostavilo in ohranilo ravnotežje. Vestibularni sistem daje informacije glede položaja glave in gibanja, somatosenzorični sistem s propriocepcijo z informacijami preko kože in sklepov daje informacije o premikanju in medsebojnem položaju segmentov telesa, visni sistem pa informira glede položaja telesa v prostoru.²

Rezultati raziskav, ki so bile izvedene pri bolnikih po možganski kapi v Veliki Britaniji in Združenih državah Amerike, kažejo, da se med rehabilitacijo sposobnost bolnikov lahko izboljša v akutni in tudi v kronični fazi. Ugotovili so, da je učinkovitost terapije možno zagotoviti le z intenzivno terapijo ter predvsem ponovljivimi in ciljno usmerjenimi nalogami.³

Naloge, ki so zasnovane tako, da bolnik stremi k določenemu cilju, lahko namesto stalne pomoči terapevta prevzame sodobna računalniška tehnologija. Gibanje bolnika merijo razni senzorji, informacija pa se prenaša v navidezno računalniško okolje. Tehnologija navideznih okolij (NO) omogoča izvedbo nalog z grafičnim vmesnikom, v katerem so ustvarjeni objekti, s katerimi je uporabnik v interakciji preko ustreznega vmesnika.⁴

Uporaba NO je v rehabilitaciji pri preiskovancih po preboleli možganski kapi še razmeroma nova, zato ne obstajajo smernice ali navodila za izdelavo nalog v navideznem okolju.⁵ Terapija z uporabo NO nudi veliko možnosti uporabe, predvsem pa omogoča, nadzor in izvedbo ponovljivih in

terapevtsko usmerjenih nalog.⁶ Parametre, kot so trajanje, frekvenca, intenziteta in način izvedbe naloge, je moč nadzorovati in spreminjati glede na zahtevnost naloge in sposobnosti rehabilitanda.

Ker večina bolnikov po možganski kapi trpi za težavami s funkcionalnim ravnotežjem, je pri rehabilitaciji dobrodošla naprava za vzdrževanje ravnotežja, ki smo jo razvili na URI – Soča v sodelovanju z Univerzo v Aalborgu na Danskem in Univerzo v Ljubljani.⁷ Naprava razbremeni delo fizioterapevtov, na URI – Soča pa jo uporabljamo tudi v kombinaciji s ciljno usmerjenimi nalogami v navideznih okoljih. Predpostavili smo, in v pilotni študiji tudi preverili, da lahko uporaba nalog v NO pri vadbi dinamičnega ravnotežja ob enakem učinku razbremeni delo fizioterapevtov že v kliničnem okolju, v nadaljevanju pa omogoči izvajanje rehabilitacije na daljavo – telerehabilitacije.

Telerehabilitacija torej omogoča nadaljevanje rehabilitacije na domu in v določenih primerih tudi skrajšanje klinične obravnave. V nadaljevanju je opisana pilotna študija na pacientih po možganski kapi, ki prikazuje telerehabilitacijo in njene potenciale. V razpravi in zaključku so poleg pilotne študije obravnavana tudi širša vprašanja glede telerehabilitacije.

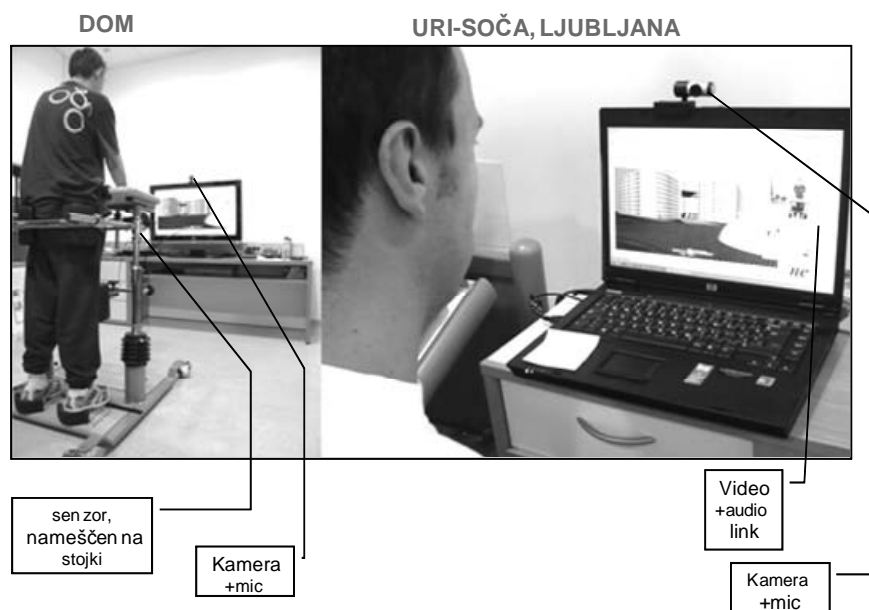
Metodologija

Oprema

Bolnikom je pri pokončni drži pri stoji in prenašanju ravnotežja pomagala naprava za dinamično vzdrževanje ravnotežja (DVR, slika 1), mehanska naprava, ki omogoča gibanje v vseh smereh transferzalne ravnine.⁷ Sestavljena je iz dveh vzporednih nosilnih cevi, ki sta pri običajnem pripomočku za vadbo stoji trdo pričvrščeni na bazno ploščo. Pri DVR pa se med spodnjima koncema obeh cevi ter bazno ploščo nahajata dve mehanski vzmeti valjaste oblike, nameščeni v jeklena cilindra. Med notranjima stenama jeklenega cilindra in vzmetjo se nahaja plastičen

cilinder, ki omejuje gibanje vzmeti. S spreminjanjem višine cilindra je celoten mehanski sklop bolj tog oz. bolj podajen. Med obema nosilnima cevema so preko enostavnih tečajev pričvrščene opore za kolena ter opora za medenico s priročno mizico. DVR omogoča gibanje (nagib) $\pm 15^\circ$ v sagitalni in frontalni ravnini. Gibanje naprave smo merili s pomočjo lastnega dvoosnega senzorja nagiba, računalniški program (URI –

Soča, Slovenia) pa je informacijo pretvoril v ustrezno dogajanje v nalogi, ki smo jo izdelali v navideznem okolju (Internet Explorer, Microsoft, ZDA z dodatkom blaxxun contact, ZDA). Prenos slike in zvoka sta zagotavljala kamera in mikrofonski (Logitech, ZDA) preko javno dostopnega internetnega komunikacijskega programa (Skype Technologies S.A., Luxembourg).



Slika 1 Telerehabilitacija z uporabo tehnologije navidezne resničnosti. Levo pacient v Domu IRIS,⁸ desno fizioterapevt spremlja v živo nalogo v spletnem brskalniku in preko videokonference daje napotke.

Naloge v navideznem okolju

Ciljno usmerjene naloge smo izvedli v računalniški grafiki v navideznem okolju (VRML) tako, da je bolnik z nagibanjem trupa in s tem naprave DVR v smeri naprej oz. nazaj povečeval oz. zmanjšal hitrost premikanja po NO, v smereh levo in desno pa sceno NO obračal v ustrezni smeri, kar je dajalo občutek »hoje« v NO. Prva od nalog, naloga Park (slika 2), je zahtevala od bolnika, da je po navodilih fizioterapevta prehodil pot mimo okrepčevalnice in nazaj do stavbe ter vstopil vanjo. Medtem se je izognil številnim oviram (klopem, zabojnikom, vodnjaku idr.). V drugi nalogi, poimenovani City (slika 3), je »taval« po

mestu in poiskal rdečo telefonsko govornico ter vstopil vanjo.

Postopek

Pilotska študija telerehabilitacije je potekala na URI – Soča v demonstracijskem stanovanju Dom IRIS,⁸ ki je ustrezno opremljeno s širokopasovno internetno povezavo, multimedijско opremo in prilagojeno za ljudi s posebnimi potrebami.

Rehabilitandi so vaje za ravnotežje s pomočjo DVR in nalog v NO izvajali skoraj 4 tedne, vsaka terapija je trajala 17-20 minut. Nalogo v NO so prvi teden izvajali ob pomoči terapevta, drugi teden samostojno ob prisotnosti terapevta ter tretji

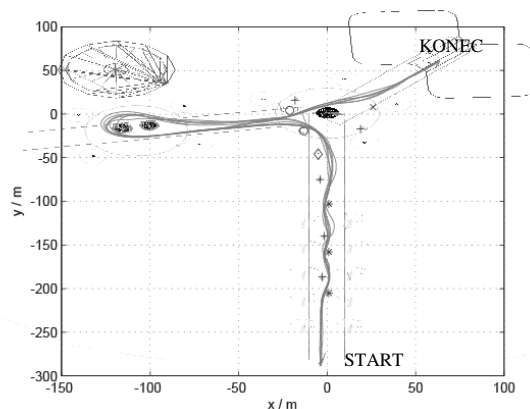
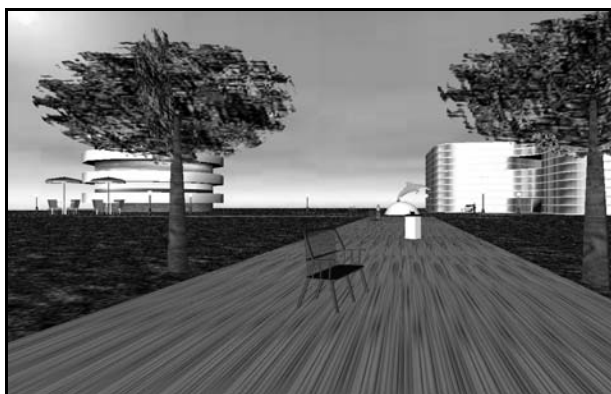
in četrti teden popolnoma samostojno s telerehabilitacijo v Domu IRIS po naslednjem postopku:

- 5 min vadbe,
- 1-2 min počitka,
- 5 min vadbe,
- 1-2 min počitka in
- še 5 min vadbe.

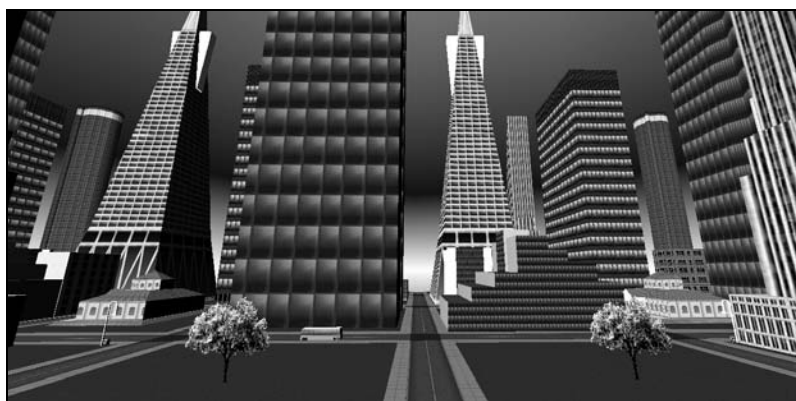
S fizioterapevtom na oddelku za paciente po možganski kapi so bili med samostojno vadbo po potrebi v stiku le preko videokonference. Hkrati je

fizioterapevt lahko spremljal izvajanje naloge v NO preko spletnega brskalnika in videokamere (slika 1), nameščene na televizijskem sprejemniku v Domu IRIS. Rezultate in pogostost izvajanja telerehabilitacije v domačem okolju je lahko fizioterapevt oz. zdravnik kadarkoli brez vednosti rehabilitanda preveril na strežniku.

Pri vsakem rehabilitandu so bili izvedeni tudi klinični testi: Bergova lestvica za oceno ravnotežja (BBS), test stoje na zdravem in prizadetem spodnjem udu, test Vstani in pojdi (TUG) ter test hitrosti hoje na 10 metrov. Izvedeni so bili na začetku, po treh tednih terapije in še 14 dni po končani terapiji. Pri prvem testu TUG ter testu hitrosti hoje na 10 m so bolniki uporabljali tudi berglo in/ali elastično ortozo za gleženj.



Slika 2 Naloga Park za dinamično vadbo ravnotežja v navidezni resničnosti (levo) in tloris izvedene poti z detekcijo trkov s posameznimi objekti (desno).



Slika 3 Naloga City za dinamično vadbo ravnotežja v navidezni resničnosti zahteva od uporabnika, da med sprehodom najde telefonsko govornico in stopi vanjo.

Uspešnost opravljanja naloge smo ocenili z doseženim časom izvedbe in številom trkov z ovirami v navideznem okolju. Rehabilitandi so bili ves čas študije vključeni tudi v ostale programe, ki so potekali po uveljavljenih nevrotérapevtskih metodah in prispevajo pretežno k izboljšanju kognitivnih sposobnosti, prekrvavitve mišic in tkiv ter izboljšanju funkcionalne hoje.

Udeleženci

V pilotni študiji je sodelovalo 6 bolnikov s hemiparezo (povprečna starost 58,5 let; razpon 44-75 let), od katerih sta dva prebolela ishemično možgansko kap, trije znotrajmožgansko krvavitev in eden subarahnoidno krvavitev. Njihova povprečna ocena s FIM⁹ ob sprejemu je bila 86,8 (motorična 60,3 in kognitivna 26,5). Kriteriji za vključitev bolnikov v program telerehabilitacije so bili:

- prebolel 1. možgansko kap s posledično enostransko okvaro;
- vsaj delno sposoben vzdrževati pokončen položaj v opornem stojalu;
- sposoben slediti navodilom, si jih zapomniti in aktivno sodelovati (dosežek na Kratkem preizkusu spoznavnih sposobnosti nad 26 točk);
- kardinalno kompenziran (ocena NYHA I ali II);
- ni prejemal psihotropnih zdravil ali zdravil, ki kakorkoli drugače vplivala na ravnotežje ali sposobnost sodelovanja.

Za sodelovanje v raziskavi je bila pridobljena privolitev s strani zdravnika in bolnika, postopek pa je odobrila etična komisija URI – Soča.

Analiza podatkov

Za analizo podatkov smo uporabili programski paket Matlab 2009 (MathWorks Inc., ZDA).

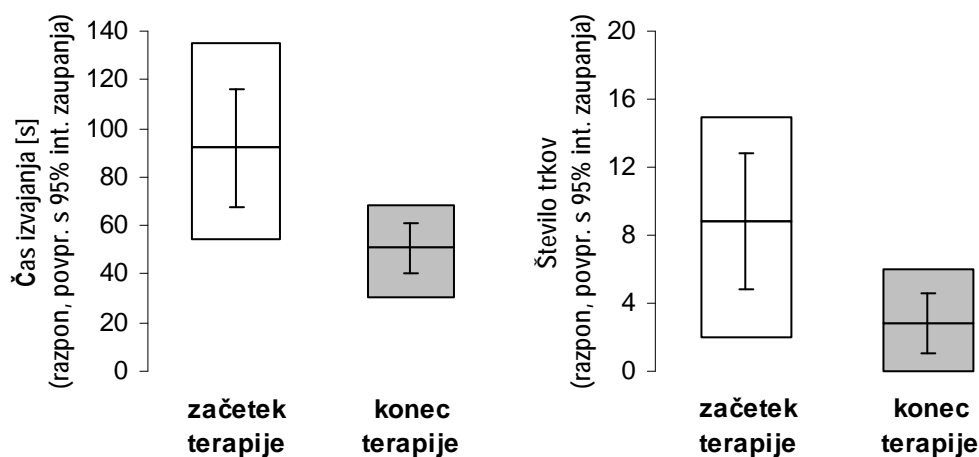
Najprej smo povprečili podatke posameznega udeleženca. Za podatke o času izvedbe naloge smo iz več ponovitev v enem ciklu (5 min) izračunali povprečno vrednost. Število trkov smo prešteli v celotnem ciklu (5 min), pa tudi za vsako posamezno izvedbo naloge. Klinični testi, ki so bili izvedeni v treh terminih, so bili za vsakega bolnika vsakokrat izvedeni trikrat, s čimer smo povečali zanesljivost.

Za skupino smo izračunali opisne statistike ter statistično testirali razlike med meritvami pred in po terapiji s parnim testom *t*. Pri DVR v NO so zaradi preglednosti in pilotnega namena predstavljeni le rezultati za nalogo Park; rezultati za nalogo City so vodili do enakih sklepov.

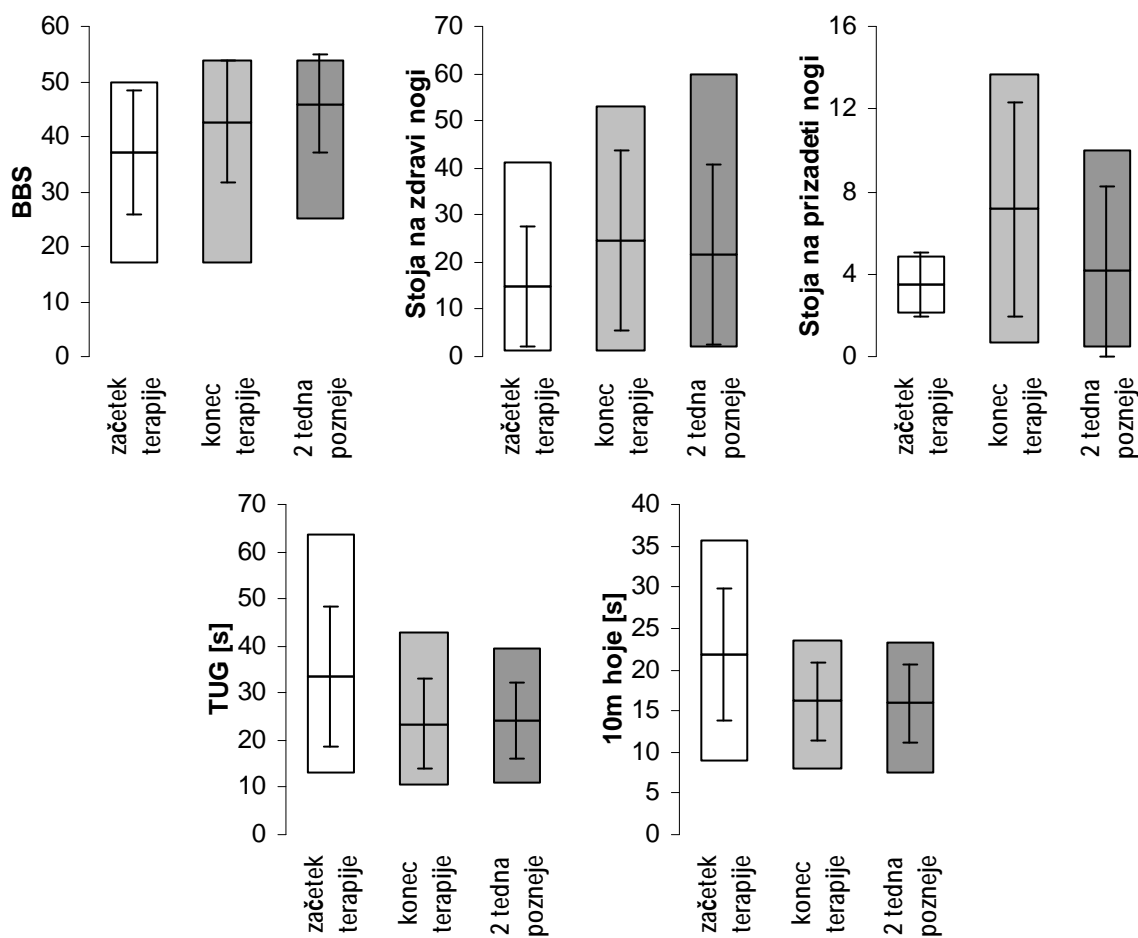
Rezultati

Čas izvedbe naloge se je v povprečju skrajšal za 42,7s (za 45%) in v povprečju je bilo 6 (68%) trčenj manj (slika 4). Klinični testi (10m test, TUG, BBS, stoja na prizadeti okončini, stoja na zdravi okončini) kažejo na izboljšanje funkcionalnega stanja (slika 5). Ocene stoje na prizadeti in zdravi okončini pred terapijo niti ni bilo mogoče opraviti za vse paciente zaradi slabega funkcionalnega stanja – večina jih ni zmogla stoje brez pripomočka (bergel). Povprečni dosežek na BBS se je izboljšal s 37 na 42, stoja na zdravi nogi se je podaljšala za do 10 s, stoja na prizadeti okončini pa za do 4 s. Izboljšal se je tudi čas TUG (v povprečju za 10,0 s) in hoja na 10 m (v povprečju za 4,6 s). Vse razlike (razen stoje na prizadeti nogi) so bile statistično značilne ($p < 0,05$).

Tudi dva tedna po odpustu iz bolnišnične obravnave, ko pacienti niso bili več deležni programa, ni bilo opaziti večjega nazadovanja ($p > 0,3$ za vse teste) pri kliničnih testih in prav tako ne pri funkcijskih zmogljivostih.



Slika 4 Rezultati izvajanja ciljno usmerjene naloge Park: čas izvajanja naloge se je po vadbi statistično značilno ($p < 0,05$) zmanjšal (levo), prav tako število trkov z ovirami (desno).



Slika 5 Rezultati kliničnih testov pred terapijo, po koncu telerehabilitacije in dva tedna po odpustu iz bolnišnične obravnave. Enako kot na sliki 4, sta prikazana razpon in povprečje s 95% intervalom zaupanja.

Razprava

Rezultati pilotne študije DVR s ciljnim nalogami v NO v povezavi z rezultati pravkar objavljene študije,¹⁰ kjer so pacienti z uporabo DVR dosegli primerljivo funkcionalno izboljšanje ravnotežja kot pri manualni rehabilitaciji, kažejo, da je tudi z uporabo usmerjenih nalog v NO možno doseči učinkovito izboljšanje funkcionalnega ravnotežja pri osebah po možganski kapi. Klinični testi in tudi funkcionalno stanje bolnikov dva tedna po odpustu kažejo na minimalno in statistično neznačilno razliko glede na stanje takoj po bolnišnični terapiji, z daljšim obdobjem telerehabilitacije pa bi morda lahko celo izboljšali funkcionalni status bolnika.

Pilotska študija z majhnim številom prostovoljno izbranih pacientov seveda še zdaleč ne nudi dovolj oprijemljivih dokazov, na podlagi katerih bi lahko sklepali o učinkovitosti telerehabilitacije, nakazuje pa možnost nadaljnega izvajanja tovrstnega postopka in možnost prenosa v domače okolje. Tiste paciente, za katere bi ob zaključku bolnišnične rehabilitacije prišli do timske ugotovitve, da lahko z vadbo ravnotežja nadaljujejo doma, bi vključili v program telerehabilitacije. Program vadbe ravnotežja bi izvajali na svojem domu po navodilih zdravstvenega osebja, po potrebi in dogovoru pa bi vzpostavili tudi videokonferenčno zvezo s fizioterapevtom ali zdravnikom.

Fizioterapevt ima pri telerehabilitaciji možnost pridobiti zgodovino podatkov o vadbi. Tako se lahko odloči, ali je bolniku potrebno povečati, zmanjšati ali ohraniti stopnjo zahtevnosti. Na podlagi podatkov lahko fizioterapevt presodi tudi, ali pacient za pravilno izvedbo potrebuje verbalno vodenje ali pa je sposoben vaje izvajati samostojno.

Zaključek

V kronični fazi po preboleli možganski kapi je potrebna terapija za izboljšanje aktivnosti, ki mora

biti intenzivna. Izvajati se morajo aktivnosti, ki so ponovljive in če je le možno, povezane z nekim funkcijskim ciljem. Vse to pa omogoča prav navidezno okolje s svojo ponovljivostjo in prilagodljivostjo.

Seveda se zavedamo, da je pri bolnikih po preboleli možganski kapi najprej potrebna celostna timska obravnava, s pomočjo katere bolnike naučimo pravilnega gibanja ter pravilnega izvajanja dnevnih aktivnosti in opravil. Uporaba nalog v navideznih okoljih pri vadbi dinamičnega ravnotežja lahko ob primerljivem učinku razbremeni delo fizioterapevtov že v kliničnem okolju. Razvijajoča se storitev telerehabilitacija^{11,12} lahko tako omogoči skrajšanje bolnišnične obravnave in prenese nadaljevanje terapije na dom uporabnika. Slednje lahko postane izziv tudi za zdravstvene zavarovalnice, saj se s skrajšanjem časa hospitalizacije znižajo stroški. Hkrati se pacientom omogoči čim prejšnjo vrnitev v domače okolje, kar lahko zelo pozitivno vpliva na njihovo razpoloženje in zadovoljstvo.¹³

Zahvala

Avtor se zahvaljuje sodelavcem M. Rudolfu, dipl. fiziot., dr. N. Goljar, dr. med., in prof. dr. Zlatku Matjačiču za sodelovanje pri izvajanju projekta Telerehabilitacija ter Javni agenciji za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije za finančno podporo (program P2-0228).

Literatura

1. Rusjan Š: Fizioterapija pri bolnikih po preboleli možganski kapi. V: Goljar N, Štefančič M (ur.), *Novosti v rehabilitaciji po možganski kapi, 15. dnevi rehabilitacijske medicine: zbornik predavanj*. Ljubljana 2004: Inštitut RS za rehabilitacijo, 115-119.
2. Juneja G, Czynny JJ, Linn RT: Admission balance and outcomes of patients admitted for acute inpatient rehabilitation. *Am J Phys Med Rehabil* 1998; 77: 388-393.
3. Kwakkel G, Wagenaar RC, Twisk JWR, et. al.: Intensity of leg and arm training after primary middle- cerebral- artery stroke: a randomised trial. *Lancet* 1999; 354: 191-196.

4. Cikajlo I, Matjačić Z: Advantages of virtual reality technology in rehabilitation of people with neuromuscular disorders. V: Naik GR (ur.), *Recent advances in biomedical engineering*. Rijeka 2009: InTech, 301-320.
5. Holden MK: Virtual environments for motor rehabilitation: review. *Cyber Psychol Behav* 2005; 8: 187- 211.
6. Jack D, Rares B, Merians AS, Tremaine M, Burdea GC: Virtual reality- enhanced stroke rehabilitation. *IEEE Trans Neural System Rehab Eng* 2001; 9(3): 308- 318.
7. Matjačić Z, Rusjan Š, Stanonik I, Goljar N, Olenšek A: Vpliv treninga vzdrževanja ravnotežja med stojo na kinetiko hoje osebe s kronično hemiparezo. V: Goljar N, Štefančič M (ur.), *Novosti v rehabilitaciji po možganski kapi, 15. dnevi rehabilitacijske medicine: zbornik predavanj*. Ljubljana 2004: Inštitut RS za rehabilitacijo, 243-252.
8. Dom IRIS. <http://www.dom-iris.si>, 2007.
9. Vidmar G, Burger H, Marinček Č, Cugelj R. Analiza podatkov o ocenjevanju z Lestvico funkcijske neodvisnosti na Inštitutu Republike Slovenije za rehabilitacijo. *Infor Med Slov*; 2008; 13(1): 21-32.
10. Goljar N, Burger H, Rudolf M, Stanonik I: Improving balance in subacute stroke patients: a randomized controlled study. *Int J Rehabil Res* 2010; 33: 205-210.
11. Lai JC, Woo J, Hui E, Chan WM: Telerehabilitation – a new model for community-based stroke rehabilitation. *J Telemed Telecare* 2004;10: 199-205.
12. Rosen MJ: Telerehabilitation. *NeuroRehabilitation* 1999; 3: 3-18.
13. Piron L, Turolla A, Tonin P, Piccione F, Lain L and Dam: Satisfaction with care in post-stroke patients undergoing a telerehabilitation programme at home. *J Telemed Telecare* 2008; 14: 257-260.