

TELEREHABILITACIJA IN DINAMIČNA VADBA RAVNOTEŽJA Z NALOGAMI V NAVIDEZNEM OKOLJU - STORITEV PRIHODNOSTI?

TELEREHABILITATION AND DYNAMIC BALANCE TRAINING IN VIRTUAL ENVIRONMENT - FUTURE MEDICAL SERVICE?

zn. sod. dr. Imre Cikajlo, univ. dipl. inž. el., Marko Rudolf, dipl. fiziot., dr. Nika Goljar, dr. med.,
izr. prof. dr. Zlatko Matjačić, univ. dipl. inž. el.
Inštitut Republike Slovenije za rehabilitacijo, Ljubljana

Izvleček

Izhodišča:

Telerehabilitacija (terapija na daljavo) je nova usmeritev na področju medicine, ki poskuša z uporabo sodobnih komunikacijskih tehnologij vzpostaviti storitve rehabilitacije, ki bi jih zaradi specifičnosti uporabnik lahko izvajal kar doma. Namen članka je predstaviti potencialno storitev telerehabilitacije z uporabo navideznega okolja (virtualnega okolja - VO) in ugotovitve, ali lahko s telerehabilitacijo dosežemo rezultate, ki so primerljivi z rezultati klinične obravnave, npr. izboljšanje ravnotežja pri preiskovancu po preboleli možganski kapi.

Metode:

Preiskovanec je vaje za ravnotežje izvajal s pomočjo naprave za dinamično vzdrževanje ravnotežja (DVR), naloga pa je bila zasnovana v navideznem okolju. Preiskovanec je terapijo izvajal 5-krat tedensko po 17-20 minut. Ravnotežje preiskovanca je bilo ocenjeno z Bergovo lestvico za oceno ravnotežja, s testom stoji na zdravem in okvarjenem spodnjem udu, s testom "vstani in pojdi" ter s testom hitrosti hoje na 10 metrov. Preiskovanca smo testirali na začetku in po štirih tednih terapije. Objektivna ocena uspešno opravljene naloge v VO je bil doseženi časa izvedbe posamezne naloge.

Rezultati:

Pregled kliničnih testov je pokazal, da so vse spremembe kliničnih pokazateljev statistično značilne ($p < 0.05$), razen stoji na zdravem udu. Rezultat Bergove lestvice za oceno ravnotežja kaže na skorajšnje okrevanje, saj je

Prispelo: 2.3.2009
Sprejeto: 15.4.2009

Abstract

Background:

Telerehabilitation (remote rehabilitation) is a rapidly developing field of telemedicine that enables the provision of remote rehabilitation services by means of telecommunication technologies. The objective of the paper is to introduce telerehabilitation service with virtual-environment (VE)-based tasks and identify whether it could provide competitive rehabilitation outcomes to clinical treatment, e.g. balance improvement in a post-stroke patient.

Methods:

The patient performed balance exercises using a balance training device; the task was conceived within a virtual environment. The patient performed therapy five times a week, each time for 17 to 20 minutes. His balance was assessed with the Berg Balance Scale, he was subject to the test of standing alternatively on the healthy and the affected lower limb, to the »Get up and go« test and the 10-m rapid walk test. He was tested at the beginning and after four weeks of therapy. The objective assessment of each task performed in the VE was established on the basis of the time within which a single task circle was completed.

Results:

The outcomes of the clinical tests show that all the changes in the clinical indicators are statistically significant ($p < 0.05$), the only exception being observed with respect to the standing on the healthy limb. The Berg Balance Scale results point to an imminent recovery since the patient scored 50 points before and 54 points after the treatment. Besides, the time required to complete the task

preiskovanec dosegel 50 točk pred in 54 točk po obravnavi. Čas za izvedbo med začetkom in koncem naloge pa je bil kljub povečanju težavnostne stopnje skoraj enak.

Zaključki:

Ocenjujemo, da je s prikazano vadbo ravnotežja z napravo za dinamično vzdrževanje ravnotežja v domačem okolju možno doseči podobne učinke kot v kliničnem okolju.

Ključne besede:

ravnotežje, možganska kap, telerehabilitacija, navidezno okolje, dinamično oporno stojalo

in VE remained practically equal in spite of the increased task's difficulty level.

Conclusions:

The demonstrated balance training using a dynamic assistive device with virtual- reality-based tasks performed in the home environment showed results similar to those obtained in the clinical environment.

Key words:

balance, stroke, telerehabilitation, virtual environment, dynamic assistive device

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, trupa, da bi ponovno vzpostavili in ohranili ravnotežje. Vestibularni sistem daje informacije o položaju glave in gibanju, somatosenzorični sistem s propriocepcijo z informacijami preko kože in sklepov daje informacije o premikanju in medsebojnem položaju segmentov telesa, vidni sistem pa daje informacije o položaju telesa v prostoru (2).

Sodobni nevrofizioterapevtski pristopi poudarjajo pomen intenzivnega ponavljanja določenih funkcijskih aktivnosti (3). Izvedbo ponovljivih in ciljno usmerjenih nalog v kliničnem okolju nam omogoča naprava za dinamično vzdrževanje ravnotežja (4). Naprava za dinamično vzdrževanje ravnotežja (DVR) je mehanska naprava, ki fizioterapevtu in pacientu pomaga pri vadbi statičnega in dinamičnega ravnotežja in v nadzorovanih pogojih omogoča ponavljajočo se vadbo pacientovih funkcijskih aktivnosti. DVR je naprava, ki je na prvi pogled podobna običajnemu pripomočku za vadbo stoje in zagotavlja varno vadbo ravnotežja. Naloge so najpogosteje zasnovane kot interakcija med preiskovancem in terapevtom, vse bolj pa se uveljavlja tudi uporaba računalniško podprtih nalog. Prednost slednjih je predvsem ponovljivost in hitra prilagodljivost preiskovančevim potrebam (5).

Terapevtsko usmerjene naloge, pri katerih uporabljajo sodobno računalniško tehnologijo, v zadnjem času izvajajo v navidezni računalniški okoljih. Tehnologija navidezni okolij omogoča izvedbo nalog z grafičnim vmesnikom, v njem pa so ustvarjeni objekti, s katerimi je uporabnik povezan preko ustreznega vmesnika (5). Uporaba navidez-

nega okolja (VO) pa je v rehabilitaciji pri preiskovancih po preboleli možganski kapi še razmeroma nova, zato ni predpisanih nalog v navidezni okolju, prav tako pa tudi ni smernic za podajanje objektov v navidezni okolju (6). Terapija z uporabo VO nudi veliko različnih možnosti, predvsem pa omogoča nadzor in izvedbo ponovljivih in terapevtsko usmerjenih nalog. Parametre, kot so trajanje, frekvenca, intenzivnost, način izvedbe naloge, je mogoče nadzorovati, spreminjati glede na zahtevnost naloge in sposobnosti posameznika.

S prodorom širokopasovnih komunikacijskih omrežij obstaja možnost prenosa tovrstne terapije s pomočjo VO v obliki telerehabilitacije iz rehabilitacijske ustanove v domače okolje (7-9). Telerehabilitacija pomeni izvajanje terapije na daljavo (10). Ta smer rehabilitacije je sorazmerno nova, pojavila se je kot potreba po intenzivnejši terapiji in nadaljevanju terapije na uporabnikovem domu. Slednje je predvsem pomembno za skrajšanje bolnišnične oskrbe in nadaljevanje rehabilitacijskega procesa na domu ali v oddaljenem zdravstvenem centru. Telerehabilitacija poleg zajemanja podatkov in sodelovanja na daljavo omogoča tudi dvosmerno slikovno in zvočno povezavo med fizioterapevtom v zdravstveni ustanovi in preiskovancem v domačem okolju.

Glede na pozitivne izkušnje z dinamičnim opornim stojalom pri rehabilitaciji oseb po možganski kapi (4) in glede na možnosti, ki jih ponuja tehnologija navidezni okolij, smo želeli ugotoviti, ali lahko tudi s telerehabilitacijo ob uporabi navideznega okolja dosežemo primerljivo izboljšanje ravnotežja pri preiskovancu po preboleli možganski kapi.

METODE

Oprema

Preiskovanec je bil nameščen v napravo za dinamično vzdrževanje ravnotežja (DVR, slika 1), mehansko napravo, ki omogoča gibanje v vseh smereh transverzalne ravnine

(4). Sestavljena je iz dveh vzporednih nosilnih cevi, ki sta pri običajnem pripomočku za vadbo stoje močno pritrjeni na bazno ploščo. Pri DVR-u pa sta med spodnjima koncema obeh vzporednih cevi ter bazno ploščo dve mehanski vzmeti valjaste oblike, nameščeni v jeklena cilindra. Med notranjima stenama jeklenega cilindra in vzmetjo je plastičen cilindar, ki omejuje gibanje vzmeti. S spreminjanjem višine omenjenega cilindra je celoten mehanski sklop bolj tog oz. bolj podajen. Med obema nosilnima cevema so z enostavnimi tečajji pritrjene 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 dvoosnega inklinometra (Xsens Inc., Nizozemska), računalniški program (IRRS, 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 mikrofona (Logitech, ZDA) preko javno dostopnega internetnega komunikacijskega programa (Skype Technologies S.A., Luxembourg).

Naloga v navideznem okolju

Naloga v navideznem okolju je bila zasnovana na predpostavki, da preiskovanec uporablja DVR kot orodje za terapijo in vodenje objekta v navideznem okolju. V ta namen je bil DVR opremljen s senzorjem nagiba, ki je informacijo o nagibu v sagitalni ravnini pretvoril v hitrost »hoje« in nagib v frontalni ravnini v rotacijo okrog osi oziroma obrat v levo ali desno. Naloga, katere cilj je bil prehoditi drevored, obiskati bife, se vrniti do križišča in vstopiti v stavbo, je bila razdeljena na tri težavnostne stopnje.

Na prvi težavnostni stopnji je preiskovanec ob pomoči opornega stojala v navideznem okolju "hodil" po cesti skozi park. Na koncu parka je šel najprej mimo ženske, ki je stala ob robu ceste, nato je v križišču zavil levo in odšel proti bifeju. Mize in stoli pred bifejem so bile za preiskovanca ovire. Uspešno se jim je moral izogniti, nadaljevati pot in se vrniti h križišču, kjer je zavil k stavbi, v katero je moral vstopiti. Pred stavbo je po isti poti naprej in nazaj z enakomerno hitrostjo hodil varnostnik, ki se mu je preiskovanec moral izogniti. Ko je preiskovanec uspešno prišel mimo varnostnika, je vstopil v stavbo in na ta način spet prišel na začetek naloge. Na drugi težavnostni stopnji je bila naloga podobna, le da se je v začetnem delu vaje pri "hoji" skozi park preiskovanec moral sprehoditi mimo štirih klopi. Na tretji težavnostni stopnji je pri "hoji" skozi drevored naletel še na dodatne ovire - tri smetnjake in dve luži.

Protokol

Pilotska študija telerehabilitacije je potekala na Inštitutu Republike Slovenije za rehabilitacijo v demonstracijskem stanovanju "Dom IRIS" (11), ki je ustrezno opremljen s

širokopasovno internetno povezavo, multimedijško opremo in prilagojen za ljudi s posebnimi potrebami. Pred začetkom in ob koncu študije so bili izvedeni naslednji klinični testi: Bergova lestvica za oceno ravnotežja (največje število, ki ga dosežejo osebe brez motenj ravnotežja, je 56) (12), test stoje na okvarjenem in zdravem spodnjem udu (13), test "vstani in pojdi" ter test hitrosti hoje na 10 metrov (14). Pri testu "vstani in pojdi" ter testu hitrosti hoje na deset metrov je preiskovanec uporabljal berglo in elastično ortozo za gleženj.

Pilotska študija je potekala skoraj 4 tedne, vsakokratna vadba je trajala 17-20 minut. Preiskovanec je v navideznem okolju izvajal nalogo, ki je imela tri težavnostne stopnje. Prvo težavnostno stopnjo je preiskovanec opravljal prvi teden, drugo naslednjih šest dni in tretjo še nadaljnjih šest dni. Na vsaki težavnostni stopnji je preiskovanec vajo izvajal po naslednjem postopku: 5 minut vadbe, 1-2 minuti počitka, 5 minut vadbe, 1-2 minuti počitka in še 5 minut vadbe.

Preiskovanec je bil ves čas študije vključen tudi v ostale programe, ki so potekali po uveljavljenih nevroterapevtskih metodah in prispevajo pretežno k izboljšanju kognitivnih sposobnosti, prekrvitvi mišic in tkiv ter izboljšanju funkcionalne hoje.

Preiskovanec

V pilotski študiji je sodeloval 47-letni preiskovanec (180 cm, 80 kg) z desnostransko hemiparezo (znotrajmožgansko krvavitvijo v področju bazalnih ganglijev 1 mesec pred začetkom rehabilitacije) in z motorično disfazijo ter dizartrijo. Preiskovanec je bil kardiovaskularno kompenziran, brez spremljajočih bolezni in zdravil, ki bi lahko vplivala na ravnotežje, bil je tudi sposoben slediti navodilom.

Za sodelovanje v raziskavi smo pridobili privolitev zdravnika in preiskovanca.

Telerehabilitacija

V dnevnem prostoru demonstracijskega stanovanja »Dom IRIS« je bil preiskovanec nameščen v napravo za dinamično vzdrževanje ravnotežja (slika 1, spodaj). Pred seboj je imel televizijski zaslon, na katerem je bila pritrjena kamera. V istem prostoru kot preiskovanec je bil tudi inženir, ki je pomagal vzpostaviti videokonferenčno povezavo s fizioterapevtom v oddaljenem prostoru (slika 1, zgoraj). Fizioterapevt je sedel za osebnim računalnikom, na katerem je bila prav tako nameščena kamera. S pomočjo videokonferenčne povezave sta preiskovanec in fizioterapevt lahko izmenjala potrebne informacije. Videoslika pa je fizioterapevtu poleg spletnega brskalnika, s katerim je sledil opravljanju naloge, omogočala, da je preiskovanca tudi videl in ga sproti z ustnimi (besednimi) navodili usmerjal, kako in na kakšen način naj čim bolj pravilno izvede celotno vajo. Omenjena vloga fizioterapevta je bila ključna, predvsem v začetni fazi terapije.



Slika 1: Sistem za telerehabilitacijo. Zgornja fotografija prikazuje fizioterapevta, ki spremlja preiskovanca in njegovo izvajanje naloge v spletnem brskalniku preko videokonference ter mu daje ustrezne napotke. Spodaj preiskovanec izvaja vadbo ravnotežja z nalogo v navideznem okolju.

Analiza podatkov

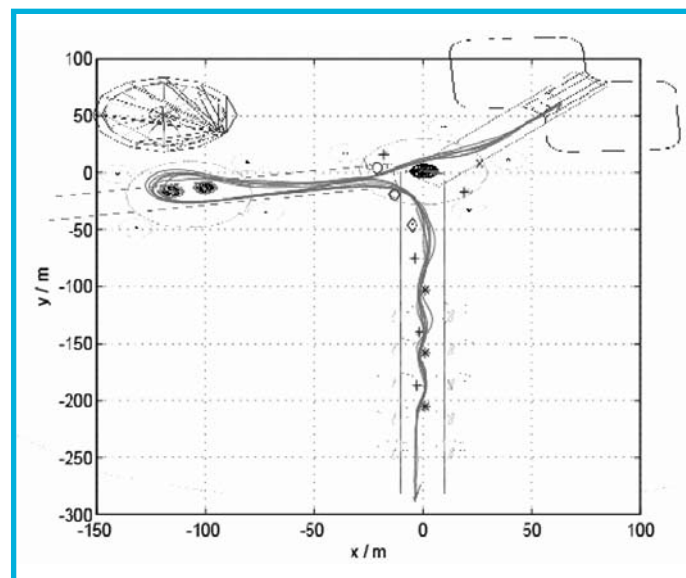
Izračunali smo povprečje vseh meritev, preverili pa smo tudi, ali se vzorca pred in po terapiji statistično razlikujeta.

Objektivno vrednotenje opravljene naloge v VO je temeljilo na času izvedbe posameznega kroga naloge, ki ga je preiskovanec dosegel, in številu trkov z ovirami, kar je prinašalo dodatni kazenski čas. Po opravljenih nalogah je za vsak trk z oviro računalnik prištel dodatnih 5 s kazenskega časa:

	Doseženi čas	Kazenske točke	Skupaj rezultat
1 krog	53 s	(3 trki) + 15 s	68 s

Računalniški algoritem je izrisal celotno pot, vrisal objekte in izračunal število trkov z njimi (slika 2).

Izračunali smo povprečje meritev za vsako težavnostno stopnjo, narejena pa je bila tudi primerjava med časi, doseženimi ob začetku in ob koncu vadbe na posamezni težavnostni stopnji.



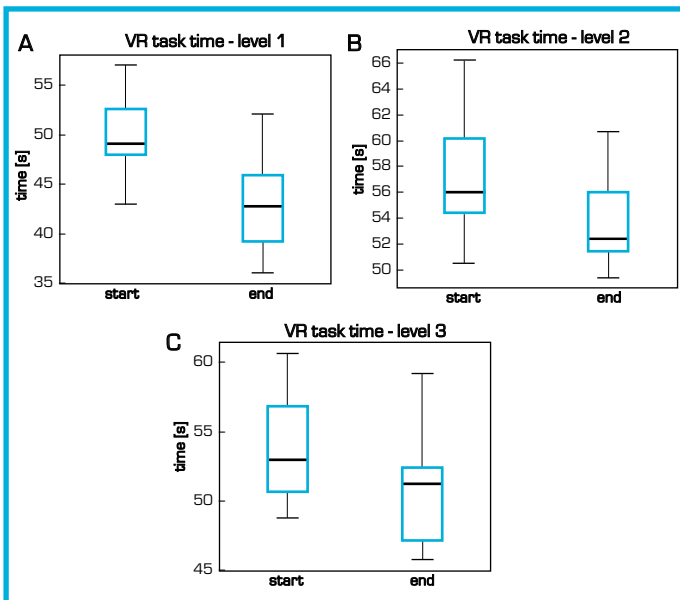
Slika 2: Pogled od zgoraj na opravljeno pot v navideznem okolju (* zabojniki, + klopi, o luži, O mizi, x hydrant, diamant – ženska ...). Pot se začne v spodnjem delu zaslona in se konča v zgornjem desnem kotu, kjer preiskovanec "vstopi" v stavbo. Iz slike je očitno, da je preiskovanec dvakrat zadel mizi v bifeju, po enkrat pa drugi in tretji zabojnik v drevoredu in nepravilno prečkal lužo.

REZULTATI

Na začetku terapije je preiskovancu v petih minutah uspelo narediti vsaj štiri polne kroge, ob zaključku terapije pa je v enakem času naredil šest polnih krogov.

Na sliki 3 so prikazani časi, ki jih je preiskovanec dosegal v posameznih težavnostnih stopnjah.

RAZPRAVA



Slika 3: A. Čas izvedene naloge je bil po prvem tednu za 15% krajši kot ob začetku terapije ($p = 0.00005$) B. Čas izvedene naloge je bil ob koncu drugega tedna (druga težavnostna stopnja) za 8% krajši kot ob začetku drugega tedna ($p = 0.031$). C. Čas izvedene naloge je bil ob koncu tretjega tedna (tretja težavnostna stopnja) za 4% krajši kot ob začetku tretjega tedna ($p = 0.0157$)

Rezultate meritev prikazujejo tabele 1-3.

Tabela 1: Povprečne vrednosti števila točk pri Bergovi lestvici za oceno ravnotežja (B)

	1. merjenje (pred terapijo)	2. merjenje (po terapiji)
Bergova lestvica (B)	50 točk	54 točk

Tabela 2: Povprečne vrednosti in standardni odkloni pri testu stoje na zdravem spodnjem ud (SZ) ter testu stoje na okvarjenem spodnjem ud (SP)

	1. merjenje (pred terapijo)	2. merjenje (po terapiji)	p- vrednost
SZ	41,10 ± 9,24	46,82 ± 22,81	p= 0,71
SP	4,87 ± 2,89	13,63 ± 3,06	p= 0,023

Tabela 3: Povprečne vrednosti in standardni odkloni pri testu "vstani in pojdi" (VP) ter testu hitrosti hoje na 10 m (H)

	1. merjenje (pred terapijo)	2. merjenje (po terapiji)	p- vrednost
VP	14,93 ± 0,61	11,47 ± 0,64	p= 0,0024
H	12,57 ± 0,71	11,20 ± 0,10	p= 0,0298

Preiskovanec je imel največ težav s pravilno izvedbo prenosa teže na okvarjeni spodnji ud ter z zadrževanjem pravilnega položaja trupa in okvarjenega zgornjega uda. Zato se je v začetni fazi telerehabilitacije dogajalo, da je pogosto zašel iz začrtane poti v navideznem okolju (VO). Čas za izvedbo med začetkom in koncem naloge je bil, kljub povečanju težavnostne stopnje, skoraj enak, kar kaže na to, da je preiskovanec nalogo, za katero je bil tudi zelo motiviran, hitro obvladal. Že po prvem tednu mu je uspelo vidno izboljšati rezultat, saj se je čas, potreben za izvedbo naloge, na prvi težavnostni stopnji skrajšal za 15% (slika 3). V drugem tednu se je čas, ki je bil potreben za izvedbo druge težavnostne stopnje, skrajšal za 8% in v tretjem tednu za 4%.

Pregled kliničnih testov kaže (tabele 1-3), da so vse spremembe kliničnih pokazateljev v pozitivni smeri statistično značilne ($p < 0.05$), razen stoje na zdravem ud. Rezultat Bergove lestvice za oceno ravnotežja kaže na skorajšnje okrevanje, saj je preiskovanec dosegel 50 točk pred in 54 točk po obravnavi (osebe brez motenj ravnotežja dosežejo 56 točk).

Zavedamo se, da nam pilotska študija z eno osebo še zdaleč ne nudi dovolj oprijemljivih rezultatov, na podlagi katerih bi lahko naredili zaključke, nakazuje pa možnost nadaljnjega izvajanja tovrstnega postopka in morda lahko prenos le-tega v domače okolje. V slednjo obliko terapije so lahko vključeni posamezniki, ki so bili najprej na bolnišničnem zdravljenju v klinični ustanovi. Tiste osebe, za katere bi ob zaključku rehabilitacije na timskem sestanku ugotovili, da lahko z vadbo ravnotežja nadaljujejo doma, bi lahko vključili v program telerehabilitacije. Program vadbe ravnotežja posameznik izvaja doma po navodilih zdravstvenega osebja, po potrebi in dogovoru pa vzpostavi tudi videokonferenčno povezavo s fizioterapevtom ali zdravnikom. Fizioterapevt ima možnost spremljati podatke o poteku vadbe. Tako se lahko odloči, ali je preiskovancu potrebno povečati, zmanjšati ali ohraniti stopnjo zahtevnosti vaj. Iz podatkov fizioterapevt presodi, ali posameznik za pravilno izvedbo vaj potrebuje tudi sprotne ustna (besedna) navodila ali pa je sposoben vaje izvajati samostojno.

V kronični fazi je za izboljšanje aktivnosti potrebna intenzivna terapija (13), uporabniki morajo izvajati aktivnosti, ki so ponovljive, in če je le mogoče, morajo biti le-te povezane s posameznim funkcijskim ciljem. Vse to pa omogoča prav navidezno okolje s svojo ponovljivostjo in prilagodljivostjo (5, 15). Seveda pa se zavedamo, da je pri osebi po preboleli možganski kapi najprej potrebna celostna timska obravnava, s pomočjo katere posameznika naučimo pravilnega gibanja, pravilnega izvajanja dnevnih

aktivnosti in opravi (3). Uporaba nalog v navideznih okoljih pri vadbi dinamičnega ravnotežja pa lahko z enakim učinkom (15) razbremeni fizioterapevte pri njihovem delu že v kliničnem okolju, hkrati pa s potencialno storitvijo telerehabilitacije omogoči skrajšanje klinične obravnave, nadaljevanje terapije pa se prenese na uporabnikov dom. Slednje lahko postane izziv tudi za zavarovalnice, saj se tako lahko skrajša čas bivanja posameznika v rehabilitacijski ustanovi, s tem pa se zmanjšajo tudi stroški. Hkrati pa pacientom omogočimo čimprejšnjo vrnitev v domače okolje.

Literatura:

- Rusjan Š. Fizioterapija pri bolnikih po preboleli možganski kapi. In: Goljar N, Štefančič M, eds. *Novosti v rehabilitaciji po možganski kapi*. 15. dnevi rehabilitacijske medicine: zbornik predavanj, Ljubljana, 26. in 27. marec 2004. Ljubljana: Inštitut Republike Slovenije za rehabilitacijo, 2004: 115-9.
- Juneja G, Czyrny JJ, Linn RT. Admission balance and outcomes of patients admitted for acute inpatient rehabilitation. *Am J Phys Med Rehabil* 1998; 77(5): 388-93.
- Langhammer B, Stanghelle JK. Bobath or motor relearning programme? A comparison of two different approaches of physiotherapy in stroke rehabilitation: a randomized controlled study. *Clin Rehabil* 2000; 14(4): 361-9.
- Matjačić Z, Rusjan Š, Stanonik I, Goljar N, Olenšek A. Vpliv treninga vzdrževanja ravnotežja med stojo na kinetiko hoje osebe s kronično hemiparezo. In: Goljar N, Štefančič M, eds. *Novosti v rehabilitaciji po možganski kapi*. 15. dnevi rehabilitacijske medicine: zbornik predavanj, Ljubljana, 26. in 27. marec 2004. Ljubljana: Inštitut Republike Slovenije za rehabilitacijo, 2004: 243-52.
- Cikajlo I. Integration of virtual reality based task into controlled dynamometry to enhance motor rehabilitation. In: Burdea G, ed. *Virtual Rehabilitation 2008*, Vancouver, Canada, August 25-27, 2008. New York: IEEE, 2008: 157-62.
- Holden MK. Virtual environments for motor rehabilitation: review. *Cyberpsychol Behav* 2005; 8(3): 187-211.
- Jack D, Boian R, Merians AS, Tremaine M, Burdea GC, Adamovich SV, et. al. Virtual reality-enhanced stroke rehabilitation. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 2001; 9(3): 308-18.
- Popescu VG, Burdea GC, Bouzit M, Hentz VR. A virtual-reality-based telerehabilitation system with force feedback. *IEEE Trans Inf Technol Biomed* 2000; 4(1): 45-51.
- Burdea G, Popescu V, Hentz V, Colbert K. Virtual reality-based orthopedic telerehabilitation. *IEEE Trans Rehabil Eng* 2000; 8(3): 430-2.
- Rosen MJ. Telerehabilitation. *Neurorehabil* 1999; 12(1): 11-26.
- Zupan A, Cugelj R, Hočevar F. Dom IRIS smart home. *Quark* (Engl. ed.). Summer 2008: 132-42.
- Berg KO, Wood-Dauphinee SL, Williams JI, Maki B. Measuring balance in the elderly: validation of an instrument. *Can J Public Health* 1992; 83 (Suppl.2): S7-11.
- Rikli RE, Jones CJ. Assessing physical performance in independent older adults: issues and guidelines. *J Aging Phys Act* 1997; 5(3): 244-61.
- Wade DT, Wood VA, Heller A, Maggs J, Langton Hewer R. Walking after stroke: measurement and recovery over the first 3 months. *Scand J Rehabil Med* 1987; 19(1): 25-30.
- Burger H, Goljar N, Rudolf M, Stanonik I, Matjačić Z. Balance training in stroke patients. In: Kullmann L, Burger H, eds. *Proceedings of the 9th Congress of European Federation for Research in Rehabilitation*, Budapest, Hungary, 26-29 August 2007. *Int J Rehabil Res* 2007; 30 (suppl. 1). London: Lippincott Williams & Wilkins, 2007: 17-8.