

# TELEREHABILITACIJA: UTOPIJA ALI SVETLA PRIHODNOST?

## TELEREHABILITATION: AN ILLUSION OR A BRIGHT FUTURE?

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

### Povzetek

Telerehabilitacija je hitro razvijajoče se področje telemedicine, katere namen je z uporabo sodobnih komunikacijskih sredstev vzpostaviti storitve rehabilitacije, ki jih uporabnik izvaja doma. V prispevku na kratko podajamo pregled trenutnega stanja raziskav in razvoja na področju telerehabilitacijskih sistemov za urjenje gibanja zgornjega uda, ki temeljijo na sistemih haptične robotike in nalogah v navidezni resničnosti. Sledi opis telerehabilitacijskega sistema za urjenje vzdrževanja ravnotežja med stojo, ki smo ga razvili v Inštitutu Republike Slovenije za rehabilitacijo. Prispevek zaključujemo s pregledom odprtih vprašanj, povezanih s telerehabilitacijo, ki jih bo pri nadaljnjem razvoju potrebno upoštevati, da bi telerehabilitacija zaživela v klinični praksi.

### Ključne besede:

haptična robotika, navidezna resničnost, rehabilitacija na uporabnikovem domu

### Summary

*Telerehabilitation is a rapidly developing field of telemedicine that enables the provision of rehabilitation services in the user's home environment by means of communication technologies. The article starts with a short outline of the current state in telerehabilitation systems based on haptic robotics and virtual reality training tasks in rehabilitation of upper limbs. That is followed by a description of our own telerehabilitation system developed for balance training during standing. The article closes with a discussion on the open questions related to telerehabilitation that need to be addressed in the future development in order to fully integrate telerehabilitation into clinical practice.*

### Key words:

*haptic robotics, virtual reality, home-based rehabilitation*

## UVOD

V zdravstvu smo priča spremembam, ki so posledica tako razvoja medicinskih znanosti, kakor tudi hitrega razvoja in uvajanja sodobnih tehnologij. Še v bližnji preteklosti je vodenje zdravstvenega sistema temeljilo predvsem na specifičnostih zdravstvene obravnave v zaključenih obdobjih preventive, zdravljenja ter rehabilitacije. V zadnjem času pa se pojavlja potreba po novem pristopu, ki bi omogočal spremljanje uporabnikov storitev med celotnim potekom zdravljenja, ki se v resničnem življenju ne konča s prej omenjenimi obdobji, pač pa je nepretrgan in v veliki večini primerov trajen proces. V zadnjem desetletju smo bili priča hitremu razvoju telemedicine, ki omogoča izvajanje različnih zdravstvenih storitev na daljavo z uporabo sodobnih komunikacijskih tehnologij.

V bližnji prihodnosti bo staranje človeške populacije zahtevalo razvoj učinkovitih rehabilitacijsko-terapevtskih pristopov k obravnavi starostnikov z različnimi nevrološkimi okvara-

mi. Ker lahko pričakujemo znatno povečanje števila potencialnih uporabnikov rehabilitacijskih programov, je potrebno razvijati takšne pristope, ki bodo čim bolj zmanjšali stroške ter kar najbolj povečali učinke rehabilitacijske obravnave, kar je povezano z razvojem inovativnih in učinkovitih rehabilitacijskih postopkov in naprav. Resolucija o nacionalnem planu zdravstvenega varstva 2008-2013 Republike Slovenije za področje rehabilitacije predvideva, da naj bi 20-30% fizioterapevtske obravnave in obravnave delovne terapije, povezane z uporabo informacijskih tehnologij in telemedicine izvajali na pacientovem domu. Razvoj na področju telemedicine v veliki meri poganja spoznanje o finančni nesprejemljivosti obstoječih zdravstvenih sistemov, hkrati pa je učinkovita rehabilitacija predpogoj za samostojno bivanje uporabnikov v njihovih lastnih domovih. Številne študije nakazujejo potrebo po dolgotrajnejši in intenzivnejši rehabilitaciji tudi v kronični fazi po nevroloških poškodbah.

Aplikacijo telemedicine v okviru zdravljenja na domu (homecare), ki zadeva rehabilitacijo, poimenujemo z besedo

»telerehabilitacija«, to je oblika individualizirane rehabilitacijske obravnave na domu. Najpomembnejši del koncepta telerehabilitacije vključuje zdravnikovo oz. terapevto vodenje, ocenjevanje, preverjanje in spreminjanje rehabilitacijskega procesa. Uporabnik doma potrebuje ustrezno tehnologijo, ki je potrebna za učinkovito rehabilitacijo, za obdobje, ki je potrebno za doseg sprejemljive ravni funkcionalne neodvisnosti. Izvajanje telerehabilitacije zahteva tri integrirane segmente: ustrezno usposobljene zdravstvene delavce in ustrezno usposobljene uporabnike, ustrezen komunikacijski kanal, ki omogoča dvosmerno slikovno in zvokovno povezavo ter ustrezne rehabilitacijske naprave, ki so zasnovane tako, da omogočajo enostavno in učinkovito izvajanje terapije ter ocenjevanje ravni funkcionalne neodvisnosti. Dosedanji razvoj in klinična testiranja (1, 2) so kot zelo primerne izpostavile telerehabilitacijske sisteme, ki temeljijo na haptičnih robotskih napravah, povezanih z navidezno resničnostjo, ki omogočajo vadbo različnih izoliranih gibov v razmerah, ki so ponovljive, merljive ter predstavljajo primerno motivacijsko okolje za uporabnika.

V prispevku najprej na kratko podajamo pregled trenutnega stanja raziskav in razvoja na področju telerehabilitacijskih sistemov; nadalje opisujemo telerehabilitacijski sistem za urjenje vzdrževanja ravnotežja med stojo; prispevek zaključujemo s pregledom tistih vidikov, povezanih s telerehabilitacijo, ki bodo imeli odločujoč vpliv na zastavljeno vprašanje v naslovu prispevka: ali je telerehabilitacija samo iluzija ali pa je pred njo svetla prihodnost?

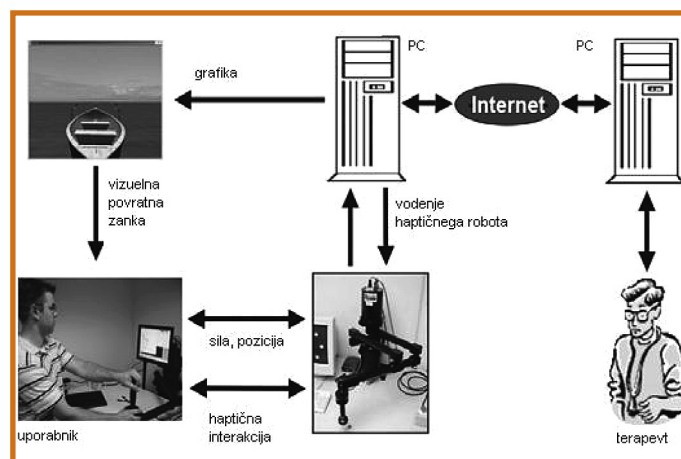
## PREGLED TRENUTNEGA STANJA

Telerehabilitacijske robotske sisteme, ki so bili do sedaj razviti skoraj samo za rehabilitacijo zgornjih udov, lahko razvrstimo v dve različni kategoriji: unilateralni sistemi in bilateralni sistemi. Podrobnejši pregled primerov izvedbe obeh kategorij sistemov je podan v Carignan in Krebs (1).

Tipični unilateralni telerehabilitacijski robotski sistem prikazuje slika 1. Uporabnik je z roko v stiku s haptičnim robotom, kar pomeni, da robotovo gibanje določa tako naloga v navidezni resničnosti, ki jo uporabnik spremlja na zaslonu, kot tudi aktivnost uporabnika. Odvisno od zahtev naloge haptični robot vzdržuje silo dotika, ki je zanemarljivo majhna, ko se uporabnik giblje v praznem prostoru, oz. je precejšnja, ko uporabnik naleti na različne ovire ali pa, ko se uporabnik želi gibati zunaj poti gibanja, ki je določena z nalogo. Delovanje haptičnega robota nadzira računalniški sistem, ki v realnem času sinhronizirano posreduje tako vidno informacijo kot tudi izvaja ustrezno silo na roko uporabnika. Terapevt je v stiku z uporabnikom preko drugega računalnika in z internetno povezavo, ki omogoča dvosmerno slikovno in zvokovno povezavo. Uporabnik in terapevt se tako lahko neposredno in v realnem času sporazumevata, terapevt lahko z besedami uporabnika usmerja in spreminja težavnost nalog v navidezni resničnosti, ne more pa »čutiti«

gibanja uporabnika, kar je lahko ovira za uveljavljanje telerehabilitacije, saj je ena od bistvenih značilnosti pri procesu terapije in rehabilitacije neposredna in z različnimi čuti (vid, sluh in dotik) vzpostavljena povezava med uporabnikom in terapevtom (multimodalnost). Prednost unilateralne izvedbe telerehabilitacijskega sistema pa je v stabilnosti delovanja haptične interakcije, ki je neodvisna od zakasnitev prenosa podatkov po internetu, kar je fizikalna omejitev, ki se ji v realnih sistemih ni mogoče izogniti.

Bilateralni telerehabilitacijski sistemi so sistemi, kjer sta tako uporabnik kot tudi terapevt v telesnem stiku, vsak s svojim haptičnim robotom. Bilateralni telerehabilitacijski sistemi tako omogočajo tudi prenos multimodalnega občutenja gibanja: terapevt lahko s premikanjem svoje haptične naprave premika tudi uporabnikovo roko in »čuti« njegov odpor. Naslednja možnost je skupno izvajanje naloge v navidezni resničnosti, ko terapevt poleg besednih navodil uporabnika tudi telesno vodi. Vendar pa so prednosti bilateralnega telerehabilitacijskega sistema lahko vprašljive zaradi zakasnitev v paketnem prenosu podatkov po internetu, ki negativno vplivajo na sinhronizacijo medsebojne interakcije med uporabnikom in terapevtom in na verno reprodukcijo gibanja, lahko pa celo povzročijo nestabilnost, ki popolnoma onemogoči izvajanje tovrstne terapije. Verjetno bomo v prihodnosti pričali razvoju komunikacijskih tehnologij, ki bodo omogočale prenos podatkov z veliko manjšimi zakasnitvami kot je to mogoče danes, tako da bodo bilateralni telerehabilitacijski sistemi realno izvedljivi. V vsakem primeru pa je cena bilateralnih sistemov (zaradi dveh haptičnih robotov) v primerjavi z unilateralnimi sistemi najmanj dvojna.



Slika 1: Tipična struktura unilateralnega telerehabilitacijskega robotskega sistema.

## PRIMER TELEREHABILITACIJSKEGA SISTEMA ZA URJENJE VZDRŽEVANJA RAVNOTEŽJA

Številni starostniki in ljudje z različnimi okvarami imajo težave z vzdrževanjem ravnotežja, posledica tega so padci in z njimi povezani številni zapleti, kot so zlomi kolkov,

ki zahtevajo dolgotrajno zdravstveno oskrbo. Na Inštitutu za rehabilitacijo smo razvili ustrezne tehnološke rešitve (dinamično oporno stojalo) in klinične pristope za urjenje vzdrževanja ravnotežja, ki so v rutinski klinični uporabi že nekaj let. Razvita tehnologija in metodologija vzdrževanja ravnotežja je bila zasnovana na način, ki omogoča uporabo tudi zunaj rehabilitacijskih ustanov, in je tako potencialno primerna za uporabo tudi na domovih pacientov.

Glede na pozitivne izkušnje z dinamičnim opornim stojalom je bil naš namen ugotoviti, ali lahko s telerehabilitacijskim pristopom ob uporabi nalog v virtualnem okolju dosežemo izboljšanje ravnotežja pri bolniku po preboleli možganski kapi. Telerehabilitacija je bila izvedena tako, da je bil bolnik v dinamičnem opornem stojalu v enem prostoru (slika 2 spodaj). Pred seboj je imel televizijski ekran, na katerega je bila pritrjena kamera. Bolnik je bil z dvosmerno slikovno in zvokovno povezavo preko spletne aplikacije Skype povezan s sosednjim prostorom, v katerem je bil fizioterapevt (slika 2 zgoraj). Fizioterapevt je sedel za osebnim računalnikom, na katerem je bila prav tako nameščena kamera. Na ta način je bila vzpostavljena komunikacija, zaradi vidnega nadzora pa je fizioterapevt bolnika lahko vodil skozi navidezno okolje. Zlasti pri prvih obravnavah je bila fizioterapevtova naloga, da je bolnika usmerjal z besedami, kako in na kakšen način naj čim bolj pravilno izvede celotno vajo.

Bolnik je vaje za ravnotežje izvajal s pomočjo dinamičnega opornega stojala; naloga, ki je imela tri težavnostne stopnje, pa je bila zasnovana v navideznem okolju. Pri prvi težavnostni stopnji je bolnik ob pomoči opornega stojala v navideznem okolju "hodil" po cesti skozi park. "Hodil" je na ta način: ko se je v dinamičnem opornem stojalu nagnil naprej, se je v navideznem okolju pomikal naprej, ko se je nagnil v levo/desno, je v navideznem okolju zavijal v levo/desno, ko pa se je vzravnil, je v navideznem okolju (VO) obstal na mestu. Na koncu parka je šel najprej mimo ženske, ki je stala ob robu ceste, nato je v križišču zavil in odšel proti bifeju. Mize in stoli pred bifejem so bile za bolnika 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 bolnik moral izogniti. Ko je bolnik uspešno prišel mimo varnostnika, je skozi vrata vstopil v stavbo in na ta način spet prišel na začetek naloge. Na začetku terapije je bolnik v petih minutah uspel narediti vsaj štiri polne kroge, ob zaključku terapije pa je v petih minutah naredil šest polnih krogov. Po petih dneh vadbe na prvi težavnostni stopnji je bolnik začel z vadbo na drugi težavnostni stopnji. Tu je bila naloga podobna, le da je bolnik v začetnem delu vaje pri "hoji" skozi park moral iti mimo štirih klopi. Po petih dneh vadbe pa je bolnik prešel na tretjo težavnostno stopnjo, ko je pri "hoji" skozi park dobil še dodatne ovire - tri smetnjake in dve luži. Bolnik je terapijo izvajal 5-krat tedensko po 17-20 minut. Ravnotežje bolnika je bilo ocenjeno z Bergovo lestvico za oceno ravnotežja, s testom stoje na zdravem in okvarjenem spodnjem udu, s

testom vstani in pojdi ter testom hitrosti hoje na 10 metrov. Bolnika smo testirali na začetku in po štirih tednih terapije. Objektivna ocena uspešno opravljene naloge v navideznem okolju (VO) je bila izvedena s pomočjo doseženega časa izvedbe posameznega kroga naloge.

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



**Slika 2:** Sistem za telerehabilitacijo. Zgornja fotografija prikazuje fizioterapevta, ki spremlja bolnikovo vadbo in mu daje ustrezne napotke. Spodaj bolnik izvaja vadbo ravnotežja z nalogo v navideznem okolju.



ravnotežja kaže na skorajšnje okrevanje, saj je bolnik dosegel 50 točk pred in 54 točk po obravnavi (od možnih 56 točk). Čas za izvedbo med začetkom in koncem naloge pa je bil kljub povečanju težavnostne stopnje skoraj enak.

## POGLED V PRIHODNOST

Avtorji večine preglednih člankov s področja telerehabilitacije ugotavljajo (1, 2, 3), da ima telerehabilitacija nedvomno velik potencial, da bi korenito spremenila obstoječe rehabilitacijske metode, organizacijo rehabilitacije ter spremembe v načinu financiranja zdravstvene dejavnosti. Pri tem pa je potrebno poudariti, da je bila večina razvojno-raziskovalnega dela na področju telerehabilitacije do sedaj usmerjenega predvsem na tehnološke vidike. Klinična testiranja so bila omejena na testiranja delovanja razvite tehnologije ter na posamezne študije primerov. Pri tem so bili terapevtski protokoli večinoma izbrani »ad-hoc«, oz. so bili omejeni z omejitvami pri tehnoloških rešitvah. Naslednji pomemben korak, ki ga bo nujno treba narediti, je izvedba randomiziranih kontrolnih študij, ki bodo na zadostnem številu uporabnikov demonstrirale učinkovitost telerehabilitacijskega pristopa, ter razvoj učinkovitih terapevtskih pristopov.

Ena izmed glavnih prednosti telerehabilitacije je možnost večje učinkovitosti in skrajšanje časa trajanja rehabilitacijskega procesa, ki je sicer omejen s financiranjem zdravstvenega sistema. Spremljanje napredka uporabnika z videokonferenčno povezavo in uporaba robotskih tehnologij ter tehnologij navidezne resničnosti odpira nove možnosti na področju razvoja novih terapevtskih pristopov, kar bo v prihodnosti zahtevalo spremembo današnje organiziranosti rehabilitacijskih centrov. Pri tem pa ne smemo zanemariti potencialnih ovir, in sicer: kako bodo zdravstveni delavci nove tehnologije in pristope sprejeli; organizacija ustrežne tehnične podpore ter uvajanje sprememb na področju dnevne organizacije dela, ki bo morala vključevati tudi čas za obravnavo bolnikov na daljavo.

Verjetno je cenovna učinkovitost telerehabilitacije najpomembnejši vidik, ki bo odločal o njenem nadaljnjem razvoju. Zavedati se je treba, da telerehabilitacija na domovih uporabnikov lahko prispeva k cenovni učinkovitosti rehabilitacije samo takrat, če je vloga terapevta omejena na posamezne interakcije z uporabnikom v obdobju izvajanja rehabilitacije na domu. Če bodo nadaljnja klinična testiranja in študije pokazale, da je za pravilnost in učinkovitost rehabilitacije na daljavo nujno potrebna stalna oddaljena prisotnost terapevta, bo telerehabilitacija zgolj izboljšala dostopnost storitev.

Naše lastne izkušnje kot tudi izkušnje številnih raziskovalcev na področju telerehabilitacije nakazujejo, da mora konvencionalni pristop, torej neposredni stik uporabnika in terapevta, še vedno ostati primarno orodje obravnave, katere trajanje pa bi lahko bilo občutno krajše, če bi bilo dopolnjeno z ustrežno robotsko podprto vadbo na domovih uporabnikov. Takšen dvo-

tiren rehabilitacijski pristop bi v svojem prvem delu konvencionalne obravnave v rehabilitacijskem centru poleg neposrednih terapevtskih učinkov, ki jih daje, služil tudi kot uvajanje potencialnega uporabnika telerehabilitacijskih storitev, kar bi v drugem delu rehabilitacije omogočilo znatno povečanje učinkovitosti terapije, če bi bila vloga terapevta omejena le na občasne, vnaprej dogovorjene stike za obravnavo na daljavo. Pri teh oddaljenih stikih bi terapevt spremljal način vadbe in napredek posameznega uporabnika, hkrati pa bi lahko glede na rezultate tudi ustrezno prilagajal zahtevnost vadbe.

Čeprav je bilo največ dela opravljenega ravno na tehnološkem področju, so današnji haptični robotski sistemi preveliki, pretežki, predragi in prezahtevni za uporabo na domovih uporabnikov. Ključni izziv na tehnološkem področju bo razvoj manjših, cenениh in prenosnih naprav, ki bodo preproste za uporabo. Povezano s tem se velja tudi dotakniti vprašanja storitvenega modela, ki ga bo treba razviti. Najverjetneje bo šel razvoj v smer, da bo uporabnik na posodo na dom dobil ustrezen telerehabilitacijski sistem, katerega jedro bosta haptična robotska naprava in komunikacijski vmesnik. Izvajanje telerehabilitacije bo ali vnaprej časovno omejeno ali pa bo trajalo, dokler terapevt ne bo presodil, da nadaljevanje več ne prinaša dodatnih učinkov.

Zelo pomemben vidik, ki ga bodo telerehabilitacijski sistemi morali upoštevati, je povezan s kakovostjo vadbe oz. terapije. Brez neposrednega terapevtovega nadzora bi namreč bolnik lahko razvil neprimerne nadomestne vzorce gibanja, katerih posledica je slabo ali celo neprimerno okrevanje. Kot primer lahko omenimo vadbo doseganja z zgornjim udom, ko mora biti trup vzravnani in ga uporabnik ne sme nagibati v smeri izvajanja naloge, kar se lahko dogaja zaradi uporabnikove želje, da bi čim bolj uspešno izvedel nalogo v navidezni resničnosti.

V bližnji prihodnosti tako lahko pričakujemo nadaljnji razvoj telerehabilitacije predvsem v dveh glavnih, tesno prepletajočih se smereh: 1.) razvoj enostavnih, cenениh haptičnih robotov in razvoj ustreznih terapevtskih okolij v navidezni resničnosti ter 2.) razvoj in klinična testiranja modelov interakcije med uporabnikom in terapevtom.

### Literatura:

1. Carignan CR, Krebs HI. Telerehabilitation robotics: bright lights, big future? *J Rehabil Res Dev* 2006; 43(5): 695-710.
2. Zampolini M, Todeschini E, Bernabeu Guitart M, Hermens H, Ilsbroux S, Macellari V, et al. Tele-rehabilitation: present and future. *Ann Ist Super Sanita* 2008; 44(2): 125-34.
3. Theodoros D, Russell T. Telerehabilitation: current perspectives. *Current principles and practices of telemedicine and e-health. Stud Health Technol Inform* 2008; 131: 191-209.