



Prof. dr. Imre Cikajlo, redni profesor za področje elektrotehnike na Univerzi v Novi Gorici in višji znanstveni sodelavec v Službi za raziskave in razvoj URI Soča, o robotih in tehnologiji kot asistentih v rehabilitaciji.



Robotska rehabilitacija

- Prof. dr. Imre Cikajlo: »V Sloveniji smo ves čas v stiku z raziskovalci in podjetji ter tudi sami prispevamo svoj delež k nastanku rehabilitacijskih robotov.«
- V rehabilitacijski medicini so roboti že stalnica pri učenju hoje, ravnotežja, treningu doseganja in prijemanja
- Privoščijo si jih lahko le tisti rehabilitacijski centri, ki imajo bogate paciente

Tekst: **Katja Željan**

Fotografije: **Jure Eržen**



Roboti, informacijska in druga tehnologija v zadnjih desetletjih pridobivajo pomen tudi v rehabilitacijski medicini. Manualni testi in številne natančne ponovitve specifičnih gibov namreč zahtevajo izreden fizični napor in pozornost, da bi zagotovili uspešno nevrorehabilitacijo, robotski sistemi, sodobne merilne tehnike in hitra obdelava podatkov pa omogočajo individualno prilagodljivo in ponovljivo nevrorehabilitacijo ter z dokazi podprto (tele)diagnostiko. Razvoj rehabilitacijskih pripomočkov in postopkov, ki se uporabljajo v kliničnem in/ali domačem okolju z uporabo telerehabilitacijskih tehnik, ter uvajanje virtualne resničnosti v rehabilitacijo nam je podrobneje predstavil prof. dr. Imre Cikajlo, ki je odgovoren za razvoj telerehabilitacije in virtualne resničnosti v rehabilitacijski robotiki na Univerzitetnem rehabilitacijskem inštitutu (URI) Soča. Objavil je več kot 150 znanstvenih člankov, pet poglavij v tujih znanstvenih monografijah in je soavtor mednarodnega patenta v EU in ZDA.

Kaj sploh delajo roboti v rehabilitaciji ljudi in zakaj postajajo asistenti v rehabilitaciji? Imate mogoče kakšen podatek, koliko so roboti v rehabilitaciji v svetu in pri nas že nadomestili delo ljudi v rehabilitaciji?

Roboti so v rehabilitacijski medicini orodje, s katerim lahko opravimo tisočero ponovitev, enakih, drugačnih, prilagojenih – sploh če predpostavljamo, da je robot programabilen ali ima celo sposobnost učenja. Roboti so v rehabilitacijski medicini v 21. stoletju že stalnica, tako pri učenju hoje, ravnotežja, treningu doseganja in prijemanja in še kje. Vse skupaj se je začelo s številnimi raziskavami na znanih univerzah MIT, CMU, ETH v ZDA, kjer imajo tudi odlične inštitute in t. i. univerzitetne bolnišnice, kjer je raziskav tovrstne rehabilitacije izjemno veliko.

Kje v tej globalni vasi je pravzaprav Slovenija? In kakšen je njen prispevek pri nastajanju rehabilitacijskih robotov?

Če govoriva o URI Soča, lahko rečeva, da je bila pionir na področju funkcionalne električne stimulacije. Z električnimi pulzi smo vzdražili živčna vlakna, ki aktivirajo mišice. Tako lahko z vodenim zaporedjem večkanalne stimulacije dosežemo funkcionalen gib uda. Seveda ne moremo trditi, da smo na področju rehabilitacijske robotike pionirji, čeprav smo bili od začetka zraven. Tudi raziskovalci, ki so se nekoč ukvarjali s funkcionalno električno stimulacijo, so sčasoma prešli v razvoj robotskih naprav. V nekem obdobju smo celo kombinirali funkcionalno električno stimulacijo in rehabilitacijske robote, predvsem pri hoji paraplegikov. S funkcionalno električno stimulacijo smo aktivirali mišice, robot pa je poleg skrbi za ravnotežje poskrbel za minimalno dodatno asistenco.

Prav robotski sistemi, sodobne merilne tehnike in hitra obdelava podatkov omogočajo tudi individualno prilagodljivo in ponovljivo nevrorehabilitacijo ter z dokazi podprto (tele)diagnostiko. Nam lahko predstavite kakšen zanimiv primer, ki ga v tej luči izvajate v URI Soča?

V URI Soča imamo komercialne robote za učenje hoje, npr. Lokomat, za prste Tyromotion, za ravnotežje e-go in Balance Trainer, ter številno opremo za merjenje hoje od brezkontaktnih optičnih sistemov Vicon do Optitracka. Poleg dinamičnega ravnotežja raziskujemo tudi doseganje in prijemanje, ob tem pa si opremo ali celo robotski sistem zgradimo sami. V nevrorehabilitaciji je zanimivo, da različen tip povratne informacije (vid, sluh, tip) popolnoma spremeni strategijo prijemanja predmetov; predmet primemo na različne načine, če dotik čutimo, vi-

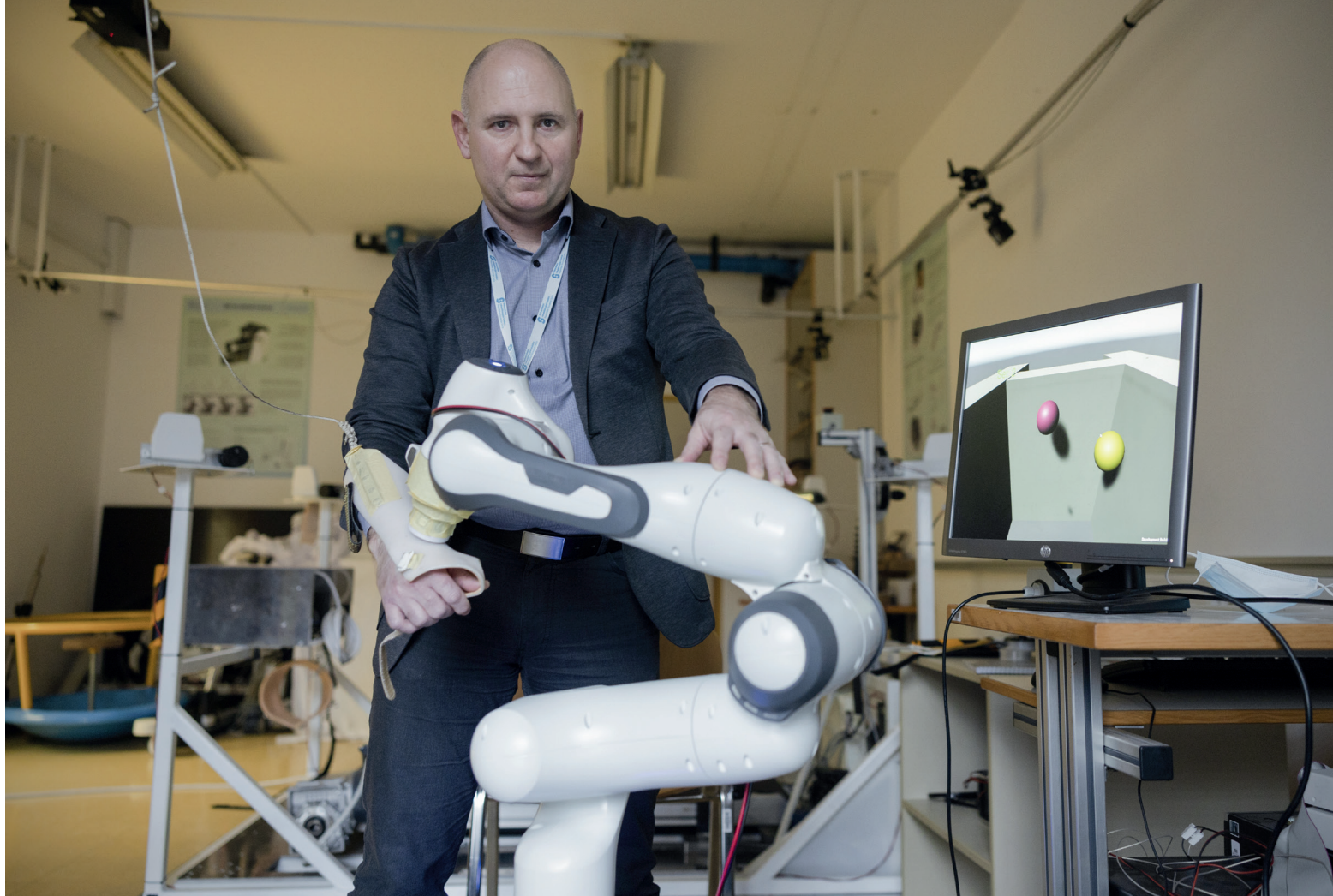
Videoigre in navidezna resničnost prodirajo tudi na številna področja medicine. V rehabilitacijski medicini omogočajo izvajanje motoričnih in tudi kognitivnih nalog v nadzorovanem okolju.

Raziskave so vedno usmerjene tako, da njihovi izsledki včasih botrujejo nastanku *spin-off* podjetij. Danes so ta podjetja v lasti tudi azijskih mogotcev: takšen primer je, denimo, »švicarska« Hokoma. Zadnje čase je na področju robotske rehabilitacije zelo aktivna Kitajska, velik korak v tej smeri je naredila tudi Rusija, kjer do nedavnega tovrstnih centrov sploh ni bilo. Skratka, svet je postal globalna vas in tudi rehabilitacijskih robotov je že zelo veliko. Seveda si jih lahko privoščijo le tisti rehabilitacijski centri, ki imajo bogate paciente; največkrat so to zasebne klinike. Imajo pa nekatere države tudi že t. i. robotske rehabilitacijske centre, kjer so na enem mestu zbrani vsi roboti. Te države so ZDA, Švica, Švedska, Francija, Velika Britanija, Nemčija ... V Sloveniji smo ves čas v stiku z raziskovalci in podjetji ter tudi sami prispevamo svoj delež k nastanku rehabilitacijskih robotov. Evropska unija tovrstna prizadevanja spodbuja preko Evropskega programa raziskav, v katerem nastajajo raziskovalni centri, kjer lahko razvijajo prototip robotov za potrebe rehabilitacijske medicine. Ni pa to nujno: rezultati raziskav lahko vodijo le do t. i. eksperimentalnih robotov, katerih rešitve podjetja uporabijo v poenostavljeni različici na tržišču.

dimo ali vidimo in čutimo. Za študijo smo uporabili ultralahkega robota Franka Emika, ga umestili v okolje, v prijemalo namestili ortoza za roko in izdelali naloge v navideznem okolju, v katerem vidimo ali čutimo navidezni predmet ali celo oboje. Ob tem smo z elektrodami merili tudi mišično aktivnost, rezultati pa so pokazali spremenjen aktivacijski vzorec, kjer se nekatere mišice aktivirajo prej, druge pa kasneje ali sploh ne.

Kako hiter pa je pravzaprav razvoj tovrstne rehabilitacije z uporabo najnovejših tehnologij – tako rehabilitacijskih robotov kot tudi videoiger in virtualne resničnosti? Si je bilo pred dvema desetletjema kaj takega sploh mogoče zamisliti? In kaj nas čaka na tem področju čez dve desetletji?

Razvoj je neverjetno hiter, v 30 letih smo prešli z bazičnih raziskav do tehnološko dovršenih robotov, rehabilitacijskih sistemov z videoigami in tako naprej. Ob tem raziskave niso uspele slediti razvoju, tako da je veliko tovrstnih tehnoloških pristopov ostalo brez klinično podprtih raziskav in je njihova učinkovitost še vprašljiva. Mislim, da bo čez 20, 30 let na tem



področju predvsem več raziskav, tehnološke igrake pa bodo malo zastale zaradi omejujoče zakonodaje, predvsem v EU, ki zaradi (morda pretirane) skrbi za pravice pacientov preprečuje številna predklinična testiranja. Ta pa so nujna za pridobitev certifikatov za specifična tržišča.

Prav rehabilitacija z uporabo videoiger doživlja v zadnjih letih pravi razcvet. Kako tovrstni načini rehabilitacije pomagajo različnim tipom pacientov? Poznate njihove odzive na vzpostavitev takšne prakse rehabilitacije? Se rehabilitacija s tem izvaja hitreje, uspešneje?

Videoigre in navidezna resničnost so z razvojem grafičnih pospeševalnikov in procesorjev doživele razcvet in poleg sveta igralništva prodirajo tudi na številna področja medicine. V rehabilitacijski medicini omogočajo izvajanje motoričnih in tudi kognitivnih nalog v nadzorovanem okolju. Pogosto bi bilo tako okolje, kjer so lahko naloge, izzivi ponovljivi in merljivi, zelo težko izdelati ali postaviti v realnem okolju; v navideznem je to pač preprosteje. Omogočimo lahko tudi sodelovanje v skupini, tudi na daljavo. Če pa govoriva o učinkovitosti rehabilitacije, je ta največkrat povezana z motivacijo pacienta za doseg cilja. Osredotočenost na nalogo in cilj sodita med najpomembnejše cilje, da lahko zagotovimo uspešno in učinkovito rehabilitacijo. Še vedno je tehnologija tudi v tej vlogi le orodje za izvedbo terapevtskih programov. Ker pa ustvarja motivirajoče okolje, je lahko tudi koristno orodje in v številnih primerih daje dobre rezultate in učinkovito rehabilitacijo. O hitrosti bi težko kaj rekel, zagotovo pa je mogoče rehabilitacijo po odpustu iz rehabilitacijskega centra nadaljevati doma, tudi v kontaktu s terapevtom, v t. i. telerehabilitaciji, ki postaja storitev prihodnosti.

»V URI Soča imamo komercialne robote za učenje hoje, npr. Lokomat, za prste Tyromotion, za ravnotežje e-go in Balance Trainer, ter številno opremo za merjenje hoje od brezkontaktnih optičnih sistemov Vicon do Optitracka. Poleg dinamičnega ravnotežja raziskujemo tudi doseganje in prijemanje, ob tem pa si opremo ali celo robotski sistem zgradimo sami,« opisuje dr. Cikajlo

Zanimiva je navedba z vašega nedavnega predavanja v Vipavi, da lahko z uporabo iger spodbudite celo kooperativnost ali tekmovalnost pri pacientih po možganski kapi. Kako vam to uspe?

Projekt, ki smo ga izvedli skupaj s kolegi z Univerze v Wyomingu, si je za hipotezo postavil medsebojno tekmovalnost in kooperativnost med pacientom in svojcem ali dvema pacientoma po preboleli možganski kapi. Iz naftalina smo potegnili igro *pong*, ko z loparčkom odbijamo žogico, in jo postavili v sodobno računalniško okolje. Gibanje roke smo merili s senzorji v krogli, na katero je pacient položil prizadeto roko in tako vodil navidezni loparček. Tekmovalnost je bila na vrhuncu. Istim pacientom smo ponudili še navidezno okolje, kjer sta pacienta sodelovala pri sestavljanju solate, pogrinjka, ovirale pa so ju muhe. S sodelovanjem sta nalogo zaključila uspešno, ne glede na to, kako sta si razdelila vloge. Rezultati so bili zanimivi, tudi metoda se je izkazala za učinkovito, zato smo izsledke objavili v znanstveni reviji. Sodobne metode, ki pogosto navajajo naše izsledke, se že testirajo tudi v klinični praksi. Tudi ti rezultati kažejo na to, da s sodelovalnimi nalogami lahko dosežemo dolgotrajnejšo motivacijo.

Ali takšne videoigre mogoče razvijate tudi v URI Soča? Kako pravzaprav ustvarjate določene tehnologije za specifične potrebe posameznika in čemu v tem procesu namenjate največ poudarka?

Na URI Soča imamo inženirji znanje in motivacijo, da pogosto sami izdelamo navidežno okolje, nalogo ali celo videoigro za namen raziskave. To potem kombiniramo z roboti, haptičnimi vmesniki in načrtujemo raziskave, s katerimi želimo odkriti, kaj je tisto, kar pacientu najbolj koristi, in kako lahko z meritvami pridobimo največ koristnih informacij. Naše vodilo so raziskave, zato se vsak razvoj začne z bazičnimi raziskavami gibanja, mišične aktivnosti (EMG), redkeje tudi možganske aktivnosti (EEG). V tem procesu razdelamo, kako naj bi določena ideja delovala, in če to ni tako, potem opravimo dodatne raziskave in simulacije. Nato se lotimo razvoja fizičnega modela, ki ga včasih uspešno dodelamo do prototipa za preizkušanje v laboratorijskem in po odobritvi etične komisije še v kliničnem okolju.

Kaj odloča o tem, kateri prototip inteligentnega robota bo dejansko zaživel v praksi? Sklepam namreč, da je v rehabilitacijski robotiki še vedno več idej za najrazličnejše robote kot pa robotov, ki telerehabilitacijo izvajajo.

Tega natančno ne vemo, ker če bi, bi potem počeli samo tisto, kar bi omogočilo, da robot vedno zaživi v praksi. Pravzaprav je potrebno veliko sredstev za patentiranje, pridobivanje certifikatov ustreznosti in etičnih dovoljenj, ki omogočajo klinične raziskave. Če se izkaže, da robot omogoča učinkovito rehabilitacijo, obstaja verjetnost, da vstopi investitor. Obstaja pa možnost, da potencialni investitor vstopi že v fazi razvoja in odkupi patentne pravice. Zapleteni sistemi ponujajo številne možnosti za raziskave, pridobljena znanja in podatki pa so nato uporabni za razvoj precej enostavnejših sistemov. Ti pogosteje izpolnjujejo stroge sodobne standarde za certificiranje in so v ustreznem trenutku tudi tržno zanimivi. Sicer pa telerehabilitacijo izvajajo terapevti iz rehabilitacijskega centra, roboti za zdaj še niso samostojni, da bi to zmogli. Rehabilitacijskih robotov na domu je relativno malo, ker so predragi in ne ravno preprosti za upravljanje. Zato so v sklopu telerehabilitacijskih storitev v uporabi preprostejši roboti oziroma mehanizmi za rehabilitacijo roke, zapestja, redkeje pa tudi za ravnotežje.

Kako verjetna pa je komercializacija tovrstnih rehabilitacijskih asistentov na tržišču v prihodnje?

Od prototipa rehabilitacijskih asistentov do komercialnega izdelka vodi dolgotrajna pot. V medicini je namreč treba pridobiti številne certifikate, še preden se opravijo klinične raziskave. Slednje so osnova za potrditev učinkovitosti naprave. Če naprava ni učinkovita, je praktično brez vrednosti. V tem primeru je to le robot, ki ga razkazuje. Multidisciplinarnost je vsekakor dobra, ker lahko tako prej dosežemo cilj, a brez kliničnih raziskav robot ne more postati komercialni izdelek. Osebnostno ocenjujem, da je komercializacija tovrstnih rehabilitacijskih asistentov zelo verjetna, vendar bo odstotek uspešnih na trgu vedno nizek. Na koncu zmagata učinkovitost v klinični praksi, ne tehnološka dovršenost, oblika ali kompleksnost ali številne nastavitve.

Mimogrede, kakšne so cene takšnih robotov?

Glede na to, da je zanje potreben dolgotrajen razvoj, da je certificiranje teh robotov zelo drago in da se jih po svetu ne proda na milijone kosov, je cena takšnega robota običajno več kot četrt milijona evrov. Investicijo

V 21. stoletju se je veliko naredilo na področju etičnih standardov in tega, da robote uporabljamo za pravi namen in na pravi način. Prvo vodilo pri tem je, da robot ne sme škoditi človeku. V medicini, predvsem v rehabilitacijski, je namreč tveganje lahko zelo veliko.

je treba vedno vključiti v ceno storitve, kar v marsikateri državi seveda ni mogoče. Medtem je na Bližnjem vzhodu v zasebnih rehabilitacijskih centrih ta cena pogosto smešno nizka.

Inteligentni robot Corbys že lahko prilagaja vzorec hoje glede na naučen vzorec. Med študijami, ki potekajo pri vas, je tudi robotska podpora pri različnih povratnih informacijah. Kakšna dognanja si obetate na tem področju?

Inteligentni robot Corbys je prototip projekta iz sedmega evropskega okvirnega programa. Razvijali smo ga številni partnerji iz EU, od univerz, inštitutov do zelo znanih podjetij s področja rehabilitacijske medicine, robotike in umetne inteligence. Robot je znal zabeležiti ciljni vzorec hoje, ki mu ga je pokazal terapevt, in ga je nato postopoma vsiljeval pacientu, ki je bil vpet v eksoskelet. Poudarek je bil na inteligentnem postopnem približevanju vzorcu, saj predvidoma pacient idealnega vzorca ne bi nikoli zmogel. Preizkusili smo tudi vodenje robota z vmesnikom možgani-stroj (BCI) – z elektroencefalografijo smo v realnem času merili možgansko aktivnost, obdelali podatke in aktivirali določeno aktivnost pri robotu. S testno osebo smo tudi uspešno izvedli zagon in ustavitev robota. S tovrstnimi projekti pridobimo številna nova spoznanja iz nevro-rehabilitacije, vmesnikov človek/stroj, delne rešitve pa so tudi patentirane in uporabne na številnih področjih, tudi v industrijski robotiki.

Kaj še sledi? Do kod segajo meje, ki jih lahko z robotskimi pomočniki še dosežemo, seveda tudi pri rehabilitaciji pacientov?

Hiter ekspanzijski razvoj v robotiki se je pravzaprav že zgodil. Od takrat, ko so bili roboti še v knjigah, se je na področju robotike zgodilo zelo veliko. Roboti so namreč iz industrije prišli na vsa druga področja. Trenutno se najbolj ukvarjamo z razmislekom, kako integrirati robote z drugimi znanji in področji, da bi jim na takšen način povečali funkcionalnost, seveda tudi v rehabilitacijski medicini. V 21. stoletju se je veliko naredilo tudi na področju etičnih standardov in tega, da robote uporabljamo za pravi namen in na pravi način. Prvo vodilo pri tem je, da robot ne sme škoditi človeku. V medicini, predvsem v rehabilitacijski medicini, je namreč tveganje lahko zelo veliko.

Pa vendar – kot ste priznali tudi sami na predavanju v Vipavi – imajo ljudje ob sebi še vedno raje prijaznega terapevta kot robota. Se lahko robot vseeno vsaj nekoliko 'odkupi' s svojimi drugimi prednostmi,

denimo s tem, da se prav nikoli ne utruji, da lahko prilagaja intenzivnost terapije, omogoča sprotne meritve?

Vsekakor imajo pacienti zelo radi, če jih k robotu ali z robotom spremlja terapevt(ka). Robot opravi le zahtevni del, fizično in utrujajoče delo, ki je lahko pri težjem pacientu zelo naporno. Terapevt(ka) pa vnese socialno komponento, ki je skoraj nenadomestljiva. Poleg tega lahko med terapijo terapevt ali robot samodejno prilagajata zahtevnost terapije glede na zmogljivosti pacienta, ki jih tudi sam oceni po naučenih ali sproti učljivih kriterijih. Zabeležene meritve se uporabljajo za oceno stanja, funkcionalnega napredka, primerjavo rezultatov in kot odlično dopolnilo opravljenim kliničnim testom. Če povzamem: terapevt je pri pacientu še vedno na prvem mestu, oba pa imata na voljo vrhunsko orodje v obliki robota.

Menite, da se bodo zdajšnji zadržki do robotske rehabilitacije v prihodnje spremenili?

Če pogledamo 25, 30 let nazaj, v URI Soča nismo imeli niti enega robota. In bilo je nepredstavljivo, da bi sploh imeli robota v kliniki. Zdaj skoraj ni več rehabilitacijskega centra takšne velikosti, ki ne bi imel več rehabilitacijskih robotov. Že zaradi imidža, če smo že pri tem. Ljudje danes sprejemamo marsikaj, ampak zgolj kot pripomoček. Ne vem, če bi si vsi želeli, da bi robot nadomestil človeka. Osebnost bi ga vseeno imel kot asistenta. Se pravi, da bi bil nekaj, kar mi lahko pomaga, kar mi lahko svetuje in mi dejansko stoji ob strani.

Kako pa bo v prihodnosti po vašem mnenju organizirana osebno prilagodljiva rehabilitacija? Bo tudi v domačem okolju s pomočjo robotov mogoče doseči popolno rehabilitacijo posameznika?

Osebnostno prilagodljivo rehabilitacijo imamo že sedaj – programi so sicer skupni za številne patologije, nevrološke poškodbe, vendar je vsak pacient individuum, za katerega je vadba prilagojena sposobnostim. V prihodnosti bomo verjetno videli sisteme, ki bodo na podlagi kliničnih testov, rezultatov meritev sami določali tipe vadb, izbirali rehabilitacijske programe, prilagajali težavnost vaj ipd. V domačem okolju bi lahko uspešno nadaljevali rehabilitacijo, ne bi pa je popolnoma prenesli v domače okolje – nisem namreč prepričan, da bodo ljudje s težjimi nevrološkimi ali možganskimi poškodbami sploh kdaj lahko začeli rehabilitacijo samostojno, brez pomoči strokovnjakov in ustrezne oskrbe.

In morda še čisto za konec: si lahko v prihodnje obetamo celo tehnologijo za čuječnost na daljavo?

Sistem za čuječnost v navidezni sobi s skupino štirih ljudi smo razvili na URI Soča v sodelovanju z irskim podjetjem že pred sedmimi leti in ga uspešno preizkusili na pacientih v URI Soča. Bil je zagotovo prvi sistem v 3D-navidezni resničnosti, omejen pa žal na Samsung GearVR. Od takrat obstajajo številne aplikacije, ki obravnavajo področje psihologije in klinične psihologije. Obstajajo, denimo, preproste aplikacije za premagovanje strahu pred višino, zaprtimi prostori ali za anksioznost, ki so že prestale klinične raziskave. Veliko kompleksnejši projekt je na primer zdravljenje posttravmatske stresne motnje; izraelski raziskovalci in kolegi iz Los Angelesa so se lotili zdravljenja vojakov. Navidezna resničnost v tem primeru omogoča podoživetje dogodkov, zagotavlja anonimnost, senzorika pa omogoča merjenje fizioloških parametrov, obrazne mimike in podobno. Za širšo javnost je morda zanimiva celo aplikacija za vadbo javnega nastopanja. ■



Razvoj je neverjetno hiter, v 30 letih smo prešli z bazičnih raziskav do tehnološko dovršenih robotov, rehabilitacijskih sistemov z videoigrami. Ob tem raziskave niso uspele slediti razvoju.