
REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

Rolul realității virtuale imersive în reabilitarea pacienților amputați cu ischemie critică

Doctorand **Ana-Maria Zanfir**

Conducător de doctorat **Prof. Dr. Ion Aurel Mironiuc**



UMF
UNIVERSITATEA DE
MEDICINĂ ȘI FARMACIE
IULIU HAȚIEGANU
CLUJ-NAPOCA

CUPRINS

INTRODUCERE	
STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII	
1. DUREREA ÎN MEMBRUL FANTOMĂ	3
2. REABILITAREA PACIENTULUI CU MEMBRUL INFERIOR AMPUTAT	3
3. ROLUL REALITĂȚII VIRTUALE IMERSIVE ÎN REABILITARE	4
4. ETICA REABILITĂRII PACIENTULUI AMPUTAT CU ISCHEMIE CRITICA	4
CONTRIBUȚIA PERSONALĂ	4
1. IPOTEZA DE LUCRU	4
2. STUDIUL 1. ADAPTAREA TERAPIEI PRIN REALITATE VIRTUALA IMERSIVA PACIENȚILOR CU ISCHEMIE CRITICA AMPUTAȚI	5
IPOTEZE DE LUCRU	5
MATERIAL ȘI METODA	5
REZULTATE	5
DISCUȚII ȘI CONCLUZII	5
CONCLUZII	5
3. STUDIUL 2. DUREREA IN MEMBRUL FANTOMA, CA PREDICTOR A EMOȚIILOR NEGATIVE DISFUNCIONALE LA PACIENȚII CU ISCHEMIE CRITICA, AMPUTAȚI	6
MATERIAL ȘI METODA	6
REZULTATE	6
DISCUȚII ȘI CONCLUZII	6
CONCLUZII	6
4. STUDIUL 3. DESIGNUL ȘI CONCEPTUL APLICAȚIEI REALITAȚII VIRTUALE IMERSIVE, DESTINATA PACIENTULUI AMPUTAT CU DURERE IN MEMBRUL FANTOMA	7
IPOTEZA DE LUCRU	7
MATERIAL SI METODA	7
REZULTATE	7
DISCUȚII ȘI CONCLUZII	7
5.CONCLUZII GENERALE	8
6.ORIGINALITATEA ȘI CONTRIBUȚIILE INOVATIVE ALE TEZEI	9

CUVINTE CHEIE: realitatea virtuală imersivă, durere în membrul fantomă, ischemie critică membre inferioare, reabilitare, protezare, emoții disfuncționale, coping.

INTRODUCERE

În ecuația beneficiu-risc, în definirea opțiunii de atitudine în ischemia critică a membrilor inferioare, amputația, deși cu un înalt impact dezabilitant fizic și psihic rămâne și astăzi o soluție terapeutică. Starea ce asigură calitatea vieții și statusul funcțional sunt esențiale în definirea unei terapii optime a pacienților cu ischemie critică a membrilor inferioare, amputați, ce prezintă durere în membrul fantomă. Durerea în membrul fantomă poate fi considerată una dintre cele mai serioase consecințe ale amputației. Aceasta este suficient de severă, pentru a necesita retragerea din medii sociale sau de muncă, pentru perioade de timp considerabile.

Realitatea Virtuală Imersivă (RVI) este o tehnologie nouă pe plan internațional și puțin investigată în Europa, aplicațiile dezvoltate pe baza acestui concept, oferind căi inedite de tratament și experiment creativ. Terapia prin RVI ar putea constitui o soluție eficientă în tratamentul durerii în membrul fantomă, devenind astfel un instrument important în reabilitarea pacientului amputat.

STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII

1. Durerea în membrul fantomă

Durerea în membrul fantomă (DMF) a fost descrisă prima dată în secolul XVI, de către chirurgul militar francez Ambrose Pare, acesta definind-o ca fiind o durere la nivelul regiunii amputate a corpului. În 1871, Silas Weir Mitchell, renumitul chirurg american, folosește termenul "durere în membrul fantomă", oferind astfel o descriere comprehensivă a acestei condiții. Mecanismele care stau la baza durerii neuropate sunt complexe și sunt localizate la nivel periferic și/sau central. Periferic : sensibilizarea neuronului senzitiv primar; activarea neuronală spontană cu apariția de pacemaker ectopice; conexiuni inter-neuronale anormale între axonii demielinizați adiacenți; inflamația neurogenă. Central: sensibilizarea neuronilor din cornul dorsal medular; producerea de noi aferențe neuronale (remodelare neuronală), fibre nervoase rezistente la efectele inhibitorii ale endorfinelor; dezaferentarea segmentară sau supra-segmentară; creșterea numărului (up-regulation) receptorilor ce mediază procesele excitatorii.

Datorită faptului că mecanismele de apariție a DMF sunt încă foarte puțin înțelese și a faptului că metodele terapeutice utilizate au avut o eficiență limitată, nu există până la ora actuală un protocol specific de tratament al DMF. Tratamentul poate fi farmacologic (opioide, anticonvulsivante, antidepresive triciclice, calcitonina, acet-aminofenul, antiinflamatoriile nonsteroidiene) noninvaziv(TENS - stimulare electrică transcutanată a nervului, "cutia oglină", realitate virtuală imersivă) sau chirurgical. Procedurile terapeutice trebuie bazate însă pe tehnici noninvazive, intervenția chirurgicală, având riscul accentuării dezaferentării, cu creșterea intensității DMF.

2. Reabilitarea pacientului cu membrul inferior amputat

Recuperarea medicală a pacienților amputați, reprezintă un proces complex în cursul căruia este facilitată, cu ajutorul personalului specializat, recuperarea fizică și psihică cu modificarea factorilor de mediu, pentru a obține independență în activitățile zilnice și a atinge cel mai bun nivel de viață posibil. Reabilitarea fizică reprezintă, recuperarea funcțiilor pierdute, prin exercițiu și educația pacientului, scopul final fiind adaptarea la protezare. Reabilitarea cognitivă reprezintă un set structurat de activități terapeutice destinat repunerii în funcție a capacităților individului, de a gândi, judeca, lua decizii, având un rol determinant în prevenirea disfuncțiilor psihosociale la pacientul amputat.

Etapele reabilitării sunt reprezentate de: etapa preoperatorie, etapa operatorie, etapa postoperatorie, protezarea, adaptarea la protezare, reintegrarea socială și reabilitarea vocațională, urmărirea post protezare. Unul din criteriile fundamentale pentru reabilitare este colaborarea interdisciplinară eficientă: chirurg, tehnician ortoped, podiatru, neurolog, psiholog, kinetoterapeut, asistent

social. Din păcate în țara noastră nu sunt încă implementate protocoale eficiente de reabilitare a pacientului amputat.

3. Rolul realității virtuale imersive în reabilitare.

Realitatea Virtuală Imersivă (RVI) este un sistem tehnologic nou pe plan internațional și presupune colaborarea între mai multe domenii științifice, ale biomecanicii, ingineriei IT (information technology), reabilitării și neuroștiinței cognitive. Unul din domeniile în care acest sistem și-a găsit aplicabilitatea este cel medical.

Principiul care stă la baza folosirii RVI în tratamentul durerii în membrul fantomă este "casetă oglindă" a lui Ramachandran. Însușindu-și conceptul neuroplasticității cerebrale și al reorganizării corticale, ce presupune și prezența unui feedback vizual cercetătorul Vilayanur Ramachandran, au realizat o serie de teste cu participarea unor veterani de război americani amputați, cu durere în membrul fantomă folosind "casetă oglindă", oferindu-i persoanei amputate iluzia vederii membrului lipsă. Casetă oglindă a fost folosită cu succes la pacienții cu amputație a membrilor inferioare, care vizualizând o reflexie a membrului anatomic în spațiul membrului fantomă au simțit o diminuare a durerii în membrul fantomă, raportând un număr de mișcări mai mare, decât dacă ar fi încercat lucrul acesta fără ajutorul vizual. Limitările acestei terapii care au condus la necesitatea căutării unei alternative terapeutice mai avantajoase.

Terapia prin RVI a înlocuit cu succes terapia prin cutia oglindă, datorită numeroșelor studii care au demonstrat implicarea acesteia în reorganizarea corticală și copingul pozitiv, cu diminuarea până la dispariție a DMF. Principiul pe care aceasta se bazează presupune generarea de către un computer a unui mediu virtual capabil să interacționeze prin intermediul simțurilor cu ființa umană. Interacțiunea în timp real cu un mediu multidimensional și multisenzorial este elementul cheie în terapia prin RVI. Pacientul interacționează nu numai cu mediul virtual dar și cu diverse obiecte ce fac parte din acel mediu. Realitatea virtuală imersivă a început să fie folosită cu succes în reabilitarea pacienților amputați datorită numeroaselor avantaje pe care aceasta la presupune: accesul într-un mediu sigur, la situații asemănătoare cu viața reală, care altfel ar fi inaccesibile pacienților datorită limitărilor motorii cognitive și psihologice.

4. Etica reabilitării pacientului amputat cu ischemie critică

Amputația unui membru, aduce pacientul într-o poziție vulnerabilă, datorită dizabilității fizice și a impactului psihologic, deciziile medicale de recuperare ce vor fi luate, fiind hotărâtoare pentru evoluția ulterioară a acestuia. Medicul trebuie să acționeze având în vedere binele pacientului, în contextul în care inevitabil la această categorie de pacienți apare un conflict de interese între nevoile pacientului, doleanțele familiei, așteptările societății. Decizia etică nu este întodeauna atât de facilă, din acest motiv trebuie definite precis motivațiile, medicale, sociale în virtutea cărora a fost luată. Deși hotărârile trebuie luate de echipa multidisciplinară, în practica, medicul curant este adesea cel care ia singur deciziile.

Problemele etice care pot apărea în cadrul echipei medicale care se ocupă de reabilitare sunt generate de spectrul variat al setului de valori și standarde morale specifice fiecărui individ. Prevenirea acestor conflicte poate fi realizată prin adoptarea unui cod de reguli pentru dilemele etice cele mai frecvent întâlnite. Astfel aceste reguli pot constitui o bază comună de principii ce pot fi folosite în diferite situații. Probleme de etică medicală pot apărea și în procesul de stabilire a obiectivelor tratamentului de reabilitare. Diferite entități participă în mod direct la construirea acestor obiective, cele mai reprezentative fiind pacientul, familia acestuia, echipa medicală și într-o anumită măsură, societatea.

CONTRIBUȚIA PERSONALĂ

1. Ipoteza de lucru

RVI creează în condiții de siguranță un mediu controlat pentru practici repetitive, practici ce sunt esențiale pentru procesul de învățare a funcțiilor motorii, oferind imediat, în timp real, feedback despre performanță. Datorită naturii sale interactive, poate crește complianța datorită capacității de a face

experiența distractivă. Sarcinile care pot fi puse în aplicare în RVI, permit mișcări complexe, atât fine cât și grosiere. Obiectivul principal al studiului este de a acționa asupra durerii în membrul fantomă folosind terapia RVI în sensul reducerii acesteia până la dispariție. Obiectivele secundare s-au axat pe acțiunea pozitivă prin terapia RVI asupra emoțiilor negative, cognițiilor iraționale, strategiilor de coping.

2. Studiul 1. Adaptarea terapiei prin realitate virtuală imersivă pacienților cu ischemie critică amputați

2.1. Ipoteze de lucru

1. Terapia RVI va modifica senzațiile pe care pacienții le au în membrul fantomă cu implicații pe termen lung și scurt în reducerea frecvenței și severității durerii în membrul fantomă. Pacienții din grupul Realitate Virtuală Imersivă (RVI) vor înregistra o diminuare semnificativă a durerii în membrul fantomă în comparație cu cei din grupul kinetoterapie.
2. Reabilitarea prin RVI va diminua amplitudinea emoțiilor negative (anxietate, depresie, distres emoțional) în comparație cu pacienții ce vor beneficia exclusiv de kinetoterapie.
3. Pacienții din grupul RVI vor manifesta un nivel mai redus al cognițiilor iraționale referitoare la durere, comparativ cu subiecții din grupul kinetoterapie, vor folosi mai multe strategii de coping pozitiv comparativ cu cei din grupul kinetoterapie.

2.2. Material și metodă

Acesta este un studiu clinic controlat, experimental. Au fost luați în studiu 60 de pacienți cu ischemie critică internă în Clinica Chirurgie 2 pe perioada 2014-2017 cărora li s-a practicat amputație majoră a membrelor inferioare și care prezentau durere în membrul fantomă.

Prezența unor afecțiuni neurologice sau cognitive ce nu au permis colaborarea cu pacienții au reprezentat un criteriu de excludere, un alt criteriu fiind absența durerii în membrul fantomă.

Pacienții au fost împărțiți aleator în două loturi. Primului lot i s-a aplicat doar proceduri kinetoterapice, în timp ce celui de-al doilea lot i s-a aplicat terapia prin RVI.

În prima etapă a studiului, toți participanții au completat scalele pentru evaluarea inițială (durere, cogniții iraționale, imagine corporală, simptome depresie și anxietate, strategii de coping). A doua etapă a presupus 3 ședințe de intervenție pentru fiecare participant. Ședințe de reabilitare prin RVI, pentru grupul RVI, respectiv kinetoterapie pentru grupul kinetoterapie. Ședințele s-au desfășurat la 2 zile distanță. A treia etapă a fost realizată la 3 zile de la ultima ședință de reabilitare și a presupus reevaluarea psihologică finală, folosind aceleași instrumente psihologice ca și în evaluarea inițială.

2.3. Rezultate

2.3.1. Durerea în membrul fantomă.

RVI a avut un impact semnificativ în reducerea DMF. A fost observată o scădere de la măsurătorile grupului RVI de la pre-intervenție ($M = 19,53$, $SD = 7,17$) la post-intervenție ($M = 11,10$, $SD = 7,73$), în timp ce scorurile din grupul kineto au rămas relativ nemodificate de la măsurătoarea pre-intervenție ($M = 17,5$, $SD = 10,38$) la cea post-intervenție ($M = 16,5$, $SD = 10,8$). Rezultatele arată că durerea evaluată cu MPQ a fost mai redusă în grupul RVI la post-evaluare comparativ cu cei din grupul kinetoterapie. Analiza statistică a evidențiat o interacțiune semnificativă timp*grup, $F(1, 30) = 43,09$, $p < .001$, $\eta^2 = .426$. De asemenea, a fost înregistrat un efect al timpului $F(1, 60) = 69,41$, $p < .001$, $\eta^2 = 0,545$. Nu a apărut un efect al grupului ($p = 0,464$).

2.3.2. Reevaluarea pozitivă

În etapa pre-intervenție grupul RVI a obținut un scor foarte scăzut ($M = 10,8$, $SD = 3,41$), în timp ce post-intervenție scorul a indicat valori medii ($M = 12,90$, $SD = 3,34$). În ceea ce privește rezultatele obținute de grupul kineto, acestea au rămas scăzute atât pre- ($M = 11,30$, $SD = 4,18$) cât și post-intervenție ($M = 11,43$, $SD = 3,68$). Și la nivelul strategiei bazate pe *reevaluare pozitivă* au fost înregistrate rezultate semnificative

statistic la nivelul interacțiunii timp*grup $F(1, 30) = 9,94, p = .004, \eta^2 = .134$, dar și un efect al timpului $F(1, 60) = 11,53, p = .001, \eta^2 = .166$. Nu a apărut un efect al grupului ($p = .589$).

2.3.3. Refocalizarea pe planificare.

Același pattern al scorurilor a fost observat și în privința refocalizării pe planificare. Media grupului RVI pre-intervenție ($M = 11,36, SD = 3,15$) indică un nivel foarte scăzut, iar media post-intervenție arată un scor relativ mediu ($M = 13,30, SD = 3,16$). La grupul kineto, rezultatele s-au menținut scăzute pre-intervenție ($M = 12,36, SD = 3,16$) și post-intervenție ($M = 12,60, SD = 3,30$). În cazul *refocalizării pe planificare* au fost înregistrate rezultate semnificative statistic la nivelul interacțiunii timp*grup $F(1, 30) = 9,77, p < .001, \eta^2 = .144$, dar și un efect al timpului $F(1, 60) = 15,87, p < .001, \eta^2 = .215$. Nu a apărut un efect al grupului ($p = .848$).

2.3.4. Ruminarea.

Analizând mediile obținute putem observa că pre-intervenție, grupul RVI a înregistrat un scor mediu ($M = 11,60, SD = 3,19$), iar post-intervenție un scor peste medie ($M = 12,76, SD = 2,90$). Grupul kineto a avut o medie de 11,03 ($SD = 3,46$ - ce corespunde unui nivel mediu), dar în post-intervenție s-a înregistrat o tendință de scădere ($M = 10,80, SD = 3,34$). Ruminarea a crescut la grupul RVI post-intervenție comparativ cu cei din grupul kineto. Au fost înregistrate rezultate semnificative statistic pentru interacțiunea timp*grup $F(1, 30) = 7,56, p = .008, \eta^2 = .115$. Nu au apărut efecte ale timpului ($p = .072$) sau ale grupului ($p = .117$).

2.3.5. Cogiții de tip catastrofarea durerii.

S-a constatat o scădere mai accentuată la nivelul mediei grupului RVI de la etapa pre-intervenție ($M = 23,1, SD = 8,07$) la etapa post-intervenție ($M = 17,06, SD = 9,76$). Scorurile grupului kineto au manifestat o scădere mai redusă de la pre-intervenție ($M = 23,06, SD = 10,43$) la post-intervenție ($M = 21,7, SD = 9,94$). A fost înregistrată o interacțiune semnificativă timp*grup, $F(1, 30) = 19,98, p < .001, \eta^2 = .256$. De asemenea a fost înregistrat un efect semnificativ al timpului, $F(1, 60) = 50,25, p < 0,001, \eta^2 = .464$. Nu a apărut un efect al grupului ($p = .346$).

2.3.6. Emoții pozitive.

Se constată o creștere accentuată a acestora la grupul RVI de la măsurătoarea pre-intervenție ($M = 31,2, SD = 3,69$) la cea post-intervenție ($M = 36,53, SD = 4,16$). La grupul kineto scorurile au fost: pre-intervenție - $M = 32,03, SD = 6,55$; post-intervenție - $M = 33,6, SD = 8,60$). A fost identificat un efect al timpului $F(1, 60) = 14,28, p < .001, \eta^2 = .198$. Nu a apărut o interacțiune semnificativă timp*grup ($p = 0,076$) și nici un efect al grupului ($p = .273$).

2.3.7. Discuții și Concluzii

Intervenția RVI este eficientă, reducerea durerii fiind semnificativă conform rezultatelor obținute aceste fiind în concordanță cu o serie de studii ce evaluează validitatea acestei metode. Pacienții nu au întâmpinat dificultăți în efectuarea exercițiilor, raportând diminuarea sau chiar dispariția durerii în membrul fantomă și faptul că această experiență a fost una plăcută.

Mai mult, intervenția bazată pe RVI a avut ca și consecință înregistrarea unor rezultate semnificative, pozitive la nivelul unor variabile psihologice: atât asupra gândurilor iraționale referitoare la catastrofarea durerii, cât și a unor strategii de coping pozitive - reevaluare pozitivă, punere în perspectivă, refocalizarea pozitivă și refocalizarea pe planificare.

3. Studiul 2. Durerea în membrul fantomă, ca predictor a emoțiilor negative disfuncționale la pacienții cu ischemie critică, amputați

3.1. Ipoteza de lucru

Obiectivul principal este de a investiga în ce măsură există corelații semnificative între durerea în membrul fantomă, adaptarea psihosocială, limitarea activităților, satisfacția cu proteza și imaginea corporală, pe de o parte și distresul emoțional, pe de altă parte. ne așteptăm să identificăm următoarele relații între variabile: corelație pozitivă semnificativă între durerea în membrul fantomă și emoțiile negative disfuncționale; corelație negativă semnificativă între adaptarea psiho-socială și emoțiile negative

disfuncționale; corelație negativă semnificativă între satisfacția cu proteza și emoțiile negative disfuncționale.

3.2. Material și Metodă

Acesta este un studiu observațional retrospectiv analitic transversal. Participanții la studiu au fost recrutați dintre pacienții care au fost internați în Clinica Chirurgie 2 din Cluj-Napoca, în perioada 2014-2017, cărora li s-a practicat amputație majoră a membrului inferior. 40 de persoane au fost selectate pentru a participa la studiul clinic. Aceștia au fost contactați telefonic și au fost informați despre studiu. Toți participanții au completat, pe modelul creion-hârtie, scalele pentru evaluarea: emoțiilor negative disfuncționale (PDA), durerea în membrul fantomă (McGill), imaginea corporală (ABIS), restricționarea activităților, adaptarea psiho-socială la condiția de amputat și satisfacția cu proteza (TAPES). Toate datele colectate au fost supuse unor prelucrări statistice ulterioare.

3.3. Rezultate

Corelațiile înregistrate între variabilele predictor și variabila criteriu, arată că există corelație semnificativă statistic între emoțiile negative disfuncționale și durerea în membrul fantomă. ($r = 0.48$, $p = 0.002$).

Satisfacția cu proteza se corelează semnificativ statistic cu emoțiile negative disfuncționale ($r = -0.46$, $p = 0.002$).

Există corelație semnificativă statistic între emoțiile negative disfuncționale și adaptarea psiho-socială ($r = -0.421$, $p = 0.007$).

Am observat o puternică corelație între adaptarea psiho-socială și satisfacția la protezare ($r = 0.788$; $p < 0.002$). În studiul de față am observat o corelație medie între durerea în membrul fantomă și satisfacția la protezare ($r = -0.453$; $p = 0.002$).

Pentru a evalua în ce măsură variabilele independente semnificative statistic în analiza univariată sunt predictori al variabilelor dependente (emoții negative disfuncționale de tip anxietate și depresie) am folosit o regresie lineară multivariată. Am obținut o valoare R^2 egală cu 0.316 așa că modelul a explicat 31.6 din varianța variabilei dependente și un R^2 cu o valoare de 0.279. Durerea în membrul fantomă și adaptarea psiho-socială sunt factori independent asociați cu emoțiile negative disfuncționale.

3.4. Discuții și Concluzii

Amputația membrului inferior are un impact negativ puternic asupra calității vieții pacientului și asupra relațiilor sociale și familiale ale acestuia. Rezultatele arată faptul că doar durerea în membrul fantomă, luată independent, explică o parte semnificativă din varianța depresiei și anxietății contribuind semnificativ la modelul de regresie. Aceste rezultate sunt în concordanță cu cele ale studiilor anterioare care stabileau legătura unei relații semnificative între durere și emoțiile negative. Adaptarea psiho-socială reprezintă de asemenea un factor independent în apariția emoțiilor negative disfuncționale, indicând rolul important atât al psihologului cât și al familiei în procesul de reabilitare a pacientului amputat. Pentru a îmbunătăți calitatea vieții persoanelor amputate se impune implementarea unei terapii eficiente a durerii în membrul fantomă, în contextul în care de aceasta depinde reducerea emoțiilor negative disfuncționale.

4. Studiul 3. Designul și conceptul aplicației realității virtuale imersive, destinată pacientului amputat cu durere în membrul fantomă

4.1. Ipoteza de lucru

Crearea unei aplicații cu o interfață simplă, accesibilă, ușor de utilizat, pentru ca pacientul să se poată concentra la exercițiile terapeutice, cu un mediu virtual care să reproducă fidel realitatea, atât la nivelul anatomiei membrului reprezentat cât și a elementelor înconjurătoare.

4.2. Material și metodă

Instrumentele folosite pentru realizarea acestui studiu au fost următoarele: Google Cardboard, Unity, Firebase, C#, ochelari de realitate virtuală MYRIA MY9801. Tehnologia necesară utilizării aplicației este formată dintr-un smartphone cu o memorie RAM de minim 1,5 GB, care rulează cel puțin Android ver. 6, o pereche de ochelari realitate virtuală, un gamepad controller marca VR Shinecon Bluetooth pentru iOS și Android (fig. 42) și conexiune la internet pentru salvarea datelor.

4.3. Rezultate

Aplicația este organizată în trei scene. Fiecare dintre acestea fiind formate dintr-o interfață a utilizatorului și un scenariu al mișcării obiectelor în interiorul acelei scene. Atunci când aplicația pornește, o listă de utilizatori este afișată pe ecran. Din această listă, utilizatorul va selecta unul din cele 25 de profiluri disponibile. Selecția se face folosind pointerul de pe ecran. Procesul de selecție se face prin poziționarea pointerului timp de 2 secunde pe userul dorit. Mutarea pointerului pe ecran este realizată prin mișcarea capului. După realizarea selecției va apărea prima scenă pentru acel utilizator. Fiecare scenă reprezintă un exercițiu diferit, un anumit tip de mișcare. Pe parcursul fiecărui exercițiu, un set de parametri monitorizează activitatea utilizatorului: de câte ori a efectuat exercițiul, de câte ori și cât timp a privit piciorul pe parcursul exercițiului.

Prima scenă din aplicație presupune lovirea cu membrul inferior a unei mingi virtuale. Aceasta permite utilizatorului să realizeze o rotație cu partea inferioară a piciorului. Pentru a lovi mingea trebuie ca pacientul să își miște piciorul mișcând controlerul pe axul său vertical. Schimbarea acțiunii pe celălalt membru se va face apăsând butonul iOS de pe controler.

În a doua scenă utilizatorului i se cere să lovească o platformă care se luminează secvențial. Culoarea platformei alternează între roșu și verde. În timp ce platforma este luminată în roșu 4 secunde, ea rămâne verde doar 3 secunde. Utilizatorul trebuie să ridice piciorul la culoarea roșie și să atingă platforma când aceasta este verde. A treia scenă presupune ridicarea membrului inferior pentru a atinge o bară virtuală. Bara își schimbă culoarea din roșu în verde atunci când este atinsă de membru. Spre deosebire de primele două scenarii, piciorul nu va reveni automat la poziția inițială, mișcarea membrului în orice poziție fiind exclusiv în responsabilitatea utilizatorului.

4.4. Discuții și Concluzii

În procesul de concepere al aplicației, s-a ținut cont de faptul că majoritatea utilizatorilor ar putea fi nefamiliarizați cu această tehnologie, motiv pentru care interacțiunea cu aplicația a fost gândită cât mai simplu posibil.

Realitatea virtuală imersivă este o tehnologie aplicabilă în domeniul medical, deschizând noi opțiuni terapeutice în sectorul de reabilitare, incluzând și tratamentul durerii în membrul fantomă la pacientul amputat, facilitând recuperarea acestuia și integrarea socio-familială.

5. Concluzii generale

Tratamentul prin RVI crează în condiții de siguranță un mediu controlat pentru practici repetitive, practici ce sunt esențiale pentru procesul de învățare a funcțiilor motorii, oferind imediat, în timp real, feedback despre performanță, pacienții raportând dispariția durerii în membrul fantomă. Refocalizare pozitivă și refocalizarea pe planificare reprezintă un alt beneficiu important al terapiei prin RVI indicând faptul că pacienții sunt direcționați spre cogniții pozitive, căutând mai frecvent feed-back în privința progresului către scop, diagnosticând în manieră pozitivă situațiile nefavorabile. Durerea în membrul fantomă și adaptarea psihosocială reprezintă factorii de risc, în apariția distresului emoțional, depresia și anxietatea, având la rândul lor un impact negativ în procesul de reabilitare, întârziind protezarea, respectiv reintegrarea socio-familială.

6. Originalitatea și contribuțiile inovative ale tezei

Conceperea unui ansamblu unic reprezentat de folosirea unei tehnologii accesibile și a unei aplicații al cărei design a fost special creat și adaptat pacienților cu ischemie critică, amputați, au permis evaluarea unei noi metode de abordare a tratamentului durerii în membrul fantomă. Implementarea terapiei prin RVI în programul de recuperare ar putea răspunde unor necesități urgente existente la nivel medical și social.

Atât componentele hardware cât și cele software folosite în cadrul terapiei prin RVI, au fost gândite pentru a fi ușor accesibile atât din punct de vedere financiar cât și din punct de vedere tehnologic, toate studiile efectuate până acum, în acest domeniu folosind tehnologii scumpe și complexe ce presupuneau prezența pacientului într-un centru de reabilitare. Sistemul creat de noi se poate achiziționa și folosi zilnic de pacient, fără a fi necesară prezența medicului sau a kinetoterapeutului, preactica zilnică reprezentând un element esențial în recuperare.

ABSTRACT OF Ph.D. THESIS

The role of the immersive virtual reality in the rehabilitation of the amputated patients with critical ischemia

Doctoral candidate **Ana-Maria Zafir**

Ph.D. Thesis advisor **Prof. Dr. Ion Aurel Mironiuc**



UMF
UNIVERSITATEA DE
MEDICINĂ ȘI FARMACIE
IULIU HAȚIEGANU
CLUJ-NAPOCA

Table of contents

INTRODUCTION	
CURRENT STATE OF KNOWLEDGE	
1. PHANTOM LIMB PAIN	3
2. REHABILITATION OF THE PATIENT WITH AMPUTATED LOWER LIMB	3
3. THE ROLE OF THE IMMERSIVE VIRTUAL REALITY IN THE REHABILITATION.	4
4. THE REHABILITATION ETHICS OF THE CRITICAL ISCHEMIA AMPUTATED PATIENT	4
PERSONAL CONTRIBUTION	4
1. WORKING HYPOTHESIS	4
2. CASE TRIAL 1. ADAPTING THE IMMERSIVE VIRTUAL REALITY THERAPY TO AMPUTATED PATIENTS WITH CRITICAL ISCHEMIA.	5
2.1. WORKING HYPOTHESIS	5
2.2. MATERIAL AND METHOD	5
2.3. RESULTS	5
2.4. DISCUSSIONS AND CONCLUSIONS	6
3. CASE TRIAL 2. PHANTOM LIMB PAIN AS PREDICTOR OF NEGATIVE DYSFUNCTIONAL EMOTIONS IN CRITICAL ISCHEMIA AMPUTATED PATIENTS	6
3.1. WORKING HYPOTHESIS	6
3.2. MATERIAL AND METHOD	7
3.3. RESULTS	7
3.4. DISCUSSIONS AND CONCLUSIONS	7
4. CASE TRIAL 3. THE DESIGN AND THE CONCEPT OF THE IMMERSIVE VIRTUAL REALITY, FOR THE AMPUTATED PATIENT WITH PHANTOM LIMB PAIN	7
4.1. WORKING HYPOTHESIS	7
4.2. MATERIAL AND METHOD	7
4.3. RESULTS	8
4.4. DISCUSSIONS AND CONCLUSIONS	8
5. GENERAL CONCLUSIONS	8
6. ORIGINALITY AND INNOVATIVE CONTRIBUTIONS OF THE THESIS	8

KEY WORDS: immersive virtual reality, phantom limb pain, critical lower limb ischemia, rehabilitation, prosthesis, dysfunctional emotions, coping.

INTRODUCTION

In the benefit – risk equation, in defining the attitude option within critical lower limb ischemia, the amputation, although with a high physical and psychological debilitating impact, remains, even today, a therapeutic solution. The state insuring the quality of life and the functional status are essential in defining an optimal therapy for the critical lower limb ischemia patients, amputated, presenting phantom limb pain. Phantom limb pain may be considered one of the most serious consequences of the amputation. This is sufficiently severe to require withdrawal from the social medium or work, for considerable periods of time.

The Immersive Virtual Reality (IVR) is a new international technology, little investigated in Europe, the applications developed based on this concept, offering innovative ways of treatment and creative experiment. The therapy through IVR may be an efficient solution in treating the phantom limb pain, thus becoming a valuable tool in rehabilitating the amputated patient.

CURRENT STATE OF KNOWLEDGE

1. Phantom limb pain

The phantom limb pain (PLP) was described for the first time in the XVIth century by the French military surgeon Ambrose Pare, who defined it as a pain in the amputated region of the body. In 1871, Silas Weir Mitchell, the famous American surgeon, uses the “phantom limb pain” term, offering a comprehensive description of this condition. The mechanisms underlying the neuropathic pain are complex and they are found in the peripheral and/or central level. Peripheral: the sensitization of the primary sensory neuron; spontaneous neural activation with ectopic pacemakers; abnormal inter-neuronal connections between the adjacent demyelinated axons; neurogenic inflammation. Central: sensitization of the neurons in the medullary dorsal horn; production of new neuronal afferents (neuronal remodeling), nervous fibers resistant to endorphin’s inhibitory effects; segmental or over-segmental locked-in; increase (up-regulation) of the receptors’ numbers mediating the excitatory processes.

Due to the fact that the PLP apparition mechanism are still very little understood and that the used therapeutic methods had a limited efficiency, until now there is no specific protocol for PLP treatment. The treatment can be pharmaceutical (opioids, anticonvulsants, tricyclic antidepressants, calcitonin, acetaminophen, non-steroidal anti-inflammatory drugs), non-invasive (TENS – transcutaneous electrical nerve stimulation, the „mirror box”, the immersive virtual reality) or surgical. But the therapeutic procedures must be based on non-invasive techniques, the surgical intervention having a high risk of lock-in, together with the increase of the PLP intensity.

2. Rehabilitation of the patient with amputated lower limb

The medical recovery of amputated patients is a complex process in which, with the help of specialized personnel, the physical and psychological recovery is eased by changing the environment factors, in order to obtain daily activity freedom and to reach the best level of life possible. The physical rehabilitation represents the recovery of the lost functions, through exercise and patient education, the final purpose being the adjustment to the prosthesis. The cognitive rehabilitation represents a structured set of therapeutic activities meant to re-establish the person’s capacity to think, judge, make decisions, having a decisive role in preventing the psycho-social dysfunctions with the amputated patient.

The stages for the rehabilitation are: the pre-surgical stage, surgical stage, post-surgical state, the prosthesis, adjustment to the prosthesis, social reintegration and vocational rehabilitation, followed by post-prosthesis stage. One of the fundamental criteria for the rehabilitation is the effective inter-disciplinary collaboration: surgeon, orthopedic technician, podiatrist, neurologist, psychologist, kinesiotherapist, social worker.

3. The role of the immersive virtual reality in the rehabilitation.

The Immersive Virtual Reality (IVR) is a relatively new international technologic system and requires the collaboration between several scientific fields: bio-mechanics, IT engineering (information technology), rehabilitation and cognitive neuroscience. One of the fields within this system found its applicability in the medical field.

The underlying principle for the use of IVR in phantom limb pain treatment is the Ramachandran's „mirror box“. By adopting the concept of cerebral neuroplasticity and cortical reorganization, which also involves the presence of a visual feedback, the researcher Vilayanur Ramachandran, has conducted a series of tests with the participation of amputated American war veterans, with phantom limb pain, using the „mirror box“, offering to the amputated person the illusion of seeing the missing limb. The mirror box has been successfully used in patients with amputated lower limbs, who, by seeing a reflection of the anatomical limb in the phantom limb space, felt a decrease of the phantom limb pain, reporting number of movements higher than if they had tried this thing without the visual aid. The limits of this therapy lead to the necessity of searching a more beneficial therapeutic alternative.

The IVR therapy has successfully replaced the mirror box therapy, due to numerous studies proving its involvement in cortical reorganization and positive coping, with a decrease to the disappearance of the PLP. The principle underlying it requires the creation by a computer of a virtual environment capable to interact through the senses with the human being. The real-time interaction with a multidimensional and multisensorial environment is the key element of the IVR therapy. The patient interacts not only with the virtual environment, but also with different objects pertaining to that environment. The immersive virtual reality has begun to being used successfully in rehabilitating amputated patients, due to its numerous advantages: access in a safe environment to situations similar to the real life, which otherwise would be inaccessible for the patients due to the motor, cognitive and psychological limitations.

4. The rehabilitation ethics of the critical ischemia amputated patient

The amputation of a limb, brings the patient in a vulnerable position, due to the physical disability and the psychological impact, the recovery medical decisions that are to be taken being extremely decisive for the patient's subsequent evolution. The physician must act keeping in mind the patient's well-being, given the fact that, inevitably, in this category of patients there is always an interest conflict between the patient's needs, the family's desires and the expectations of the society. The ethical decision is not always that simple, which is why the medical, social motivations that lead to the decision must be defined. Although the decisions must be taken within a multi-disciplinary team, in practice, the attending physician is most often the only one making these decisions.

The ethical problems that might appear within the medical team taking care of the rehabilitation are issued by the various spectrum of the moral values and standards sets specific to each person. Preventing this type of conflicts may be done by adopting a code of rules for the ethical dilemmas most frequently met. These rules may be a common base of principles that can be used in different situations. The medical ethic issues can also appear in the process of establishing the objectives of the rehabilitation treatment. Different entities participate actively in building these objectives, the most representative being the patient, his/her family, the medical team and, to some extent, the society.

PERSONAL CONTRIBUTION

1. Working hypothesis

IVR creates, in safe conditions, a controlled environment for repetitive practices, practices that are essential for the learning process of the motor functions, offering immediately, in real-time, feedback regarding the performance. Due to its interactive nature, the compliance may increase because of the capacity of making the experience a fun one. The tasks that can be inserted in the IVR application allow complex movements, both smooth and coarse. The main objective of the trial is to act on the phantom limb pain through IVR therapy, meaning reducing the PLP to disappearance. The secondary objectives are

focused on the positive action through IVR therapy over the negative emotions, irrational cognitions and coping strategies.

2. Case trial 1. Adapting the immersive virtual reality therapy to amputated patients with critical ischemia.

2.1. Working hypothesis

1. The IVR therapy shall modify the sensations the patients have in their phantom limb with long and short term implications in reducing the frequency and the severity of the phantom limb pain. The patients within the Immersive Virtual Reality (IVR) group shall register a significant reduction of the phantom limb pain compared to those in the kinesiotherapy group.

2. The rehabilitation through IVR shall decrease the amplitude of negative emotions (anxiety, depression, emotional distress) compared to patients who shall benefit exclusively of kinesiotherapy.

3. The patients in the IVR group shall manifest a lower level of irrational cognition related to pain, compared to the subjects in the kinesiotherapy group, shall use more positive coping strategies compared to those in the kinesiotherapy group.

2.2. Material and method

This is a controlled, experimental clinical trial. There were taken into consideration for this trial 60 patients with critical ischemia hospitalized in Surgical Clinic 2, during 2014-2017, who went through major lower limbs amputation and who presented with phantom limb pain.

The presence of certain neurologic or cognitive conditions which didn't allow collaboration with the patients represented an exclusion criterion; another criterion being the absence of the phantom limb pain.

The patients were split in two groups. First group went only through kinesio-therapeutic procedures, while the second group went through IVR therapy.

In the first stage of the trial, all participants filled in the initial assessment scale (pain, irrational cognition, body image, depression and anxiety symptoms, coping strategies). The second stage involves 3 intervention sessions for each participant. The rehabilitation sessions through IVR, for the IVR group, respectively kinesiotherapy for the kinesiotherapy group. The sessions were carried out at a 2-day distance. The third stage was carried out after 3 days from the last rehabilitation session and involved a final psychological assessment, using the same psychological tools as for the first assessment.

2.3. Results

2.3.1. Phantom limb pain.

IVR had a significant impact in reducing PLP. It was noticed a drop in the measurements in the IVR group between the pre-intervention ($M = 19.53$, $SD = 7.17$) and the post-intervention ($M = 11.10$, $SD = 7.73$), while the scores in the kinesio group remained relatively unchanged from the pre-intervention measurements ($M = 17.5$, $SD = 10.38$) to the post-intervention ones ($M = 16.5$, $SD = 10.8$). The results show that the pain assessed with MPQ was lower within the IVR group at post-assessment compared to those in the kinesiotherapy group. The statistical analysis highlights a significant interaction time*group $F(1, 30) = 43.09$, $p < .001$, $\eta^2 = .426$. Also, there was registered a time effect $F(1, 60) = 69.41$, $p < .001$, $\eta^2 = 0.545$. There was no group effect ($p = 0.464$).

2.3.2. Positive re-assessment

In the pre-intervention stage, the IVR group obtain a very low score ($M = 10.8$, $SD = 3.41$), while the post-intervention score showed average values ($M = 12.90$, $SD = 3.34$). Regarding the results obtained by the kinesio group, they remained low both during the pre- ($M = 11.30$, $SD = 4.18$) and post-intervention ($M = 11.43$, $SD = 3.68$). Also for the strategy based on *positive re-assessment* there were registered statistical meaningful results for the interaction time*group $F(1, 30) = 9.94$, $p = .004$, $\eta^2 = .134$, but also a time effect $F(1, 60) = 11.53$, $p = .001$, $\eta^2 = .166$. There was no group effect ($p = .589$).

2.3.3. Re-focusing on planning

The same score pattern was also noticed in re-focusing on planning. The average of the IVR group pre-intervention ($M = 11.36$, $SD = 3.15$) shows a low level, and the post-intervention average shows a relatively average score ($M = 13.30$, $SD = 3.16$). In the kinesio group, the results remained low both pre-intervention ($M = 12.36$, $SD = 3.16$) and post-intervention ($M = 12.60$, $SD = 3.30$). In the case of the *re-focusing on planning* there were registered statistical meaningful results for the interaction time*group $F(1, 30) = 9.77$, $p < .001$, $\eta^2 = .144$, but also a time effect $F(1, 60) = 15.87$, $p < .001$, $\eta^2 = .215$. There was no group effect ($p = .848$).

2.3.4. Rumination

Analyzing the averages obtained, we notice that pre-intervention, the IVR group registered an average score ($M = 11.60$, $SD = 3.19$), and post-intervention a score above average ($M = 12.76$, $SD = 2.90$). The kinesio group had an average of 11.03 ($SD = 3.46$ – corresponding to an average level), but there was a drop in the post-intervention ($M = 10.80$, $SD = 3.34$). The rumination increased in post-intervention within the IVR group compared to the kinesio group. There were registered statistical meaningful results for the interaction time*group $F(1, 30) = 7.56$, $p = .008$, $\eta^2 = .115$. There was no time effect ($p = .072$) or group effect ($p = .117$).

2.3.5. Pain catastrophizing cognitions

A more accentuated drop was registered for the IVR group average from the pre-intervention stage ($M = 23.1$, $SD = 8.07$) to the post-intervention stage ($M = 17.06$, $SD = 9.76$). The kinesio group scores registered a reduced drop from the pre-intervention ($M = 23.06$, $SD = 10.43$) to post-intervention ($M = 21.7$, $SD = 9.94$). There was registered a significant interaction time*group, $F(1, 30) = 19.98$, $p < .001$, $\eta^2 = .256$. Also, there was registered a significant time effect, $F(1, 60) = 50.25$, $p < 0,001$, $\eta^2 = .464$. There was no group effect ($p = .346$).

2.3.6. Positive emotions

It is noticed an accentuated increase within the IVR group from the pre-intervention measurement ($M = 31.2$, $SD = 3.69$) to the post-intervention one ($M = 36.53$, $SD = 4.16$). Within the kinesio group the scores were pre-intervention – $M = 32.03$, $SD = 6.55$; post-intervention – $M = 33.6$, $SD = 8.60$). A time effect was identified $F(1, 60) = 14.28$, $p < .001$, $\eta^2 = .198$. There was no significant time*group interaction ($p = 0.076$), nor a group effect ($p = .273$).

2.4. Discussions and conclusions

The IVR intervention is efficient, the pain reduction being significant according to the results obtained, these being related to a series of studies assessing the validity of this method. The patients did not meet any difficulties in performing the exercises, reporting the decrease or even the disappearance of the phantom limb pain and even the fact that this experience was a pleasant one.

Moreover, the IVR intervention had as consequences the registration of significant positive results regarding some psychological variables: both on irrational thoughts related to pain catastrophizing and some positive coping strategies – positive re-assessment, perspective positioning, positive re-focusing and re-focusing on planning.

3. Case trial 2. Phantom limb pain as predictor of negative dysfunctional emotions in critical ischemia amputated patients

3.1. Working hypothesis

The main goal is to investigate the extent to which there are significant correlations between the phantom limb pain, psycho-social adapting, activities limitations, adjustment to the prosthesis and body image on one hand, and emotional distress on the other. We expect to identify the following relationships between the variables: positive significant correlation between the phantom limb pain and negative dysfunctional emotions; negative significant correlation between psycho-social adapting and negative dysfunctional emotions; negative significant correlation between the satisfaction with the prosthesis and

the negative dysfunctional emotions.

3.2. Material and method

This is an observational, retrospective, transversal analytical trial. The participants to the trial were recruited among the patients who were hospitalized in the Surgical Clinic 2 in Cluj-Napoca, during the period 2014-2017, who suffered major lower limb amputation. 40 persons were selected to participate in the clinical trial. They were contacted by phone and they were informed regarding the trial. All participants have filled in, on the pencil-paper model, the assessment scales: negative dysfunctional emotions (PED), phantom limb pain (McGill), body image (ABIS), activities restricting, psycho-social adapting to the amputee condition and the satisfaction with the prosthesis (TAPES). All the gathered data underwent subsequent processing.

3.3. Results

The correlations registered between the predictor variables and the criterion variable show that there is a statistical significant correlation between negative dysfunctional emotions and the phantom limb pain ($r = 0.48$, $p = 0.002$).

The satisfaction with the prosthesis is statistically significantly correlated with negative dysfunctional emotions ($r = -0.46$, $p = 0.002$).

There is a statistical significant correlation between the negative dysfunctional emotions and the psycho-social adapting ($r = -0.421$, $p = 0.007$).

We noticed a strong correlation between the psycho-social adapting and the satisfaction with the prosthesis ($r = 0.788$; $p < 0.002$). In the present trial, we noticed an average correlation between the phantom limb pain and the satisfaction with the prosthesis ($r = -0.453$; $p = 0.002$).

In order to evaluate to what extent, the independent statistical significant variable in univariate analysis are predictors of dependent variables (negative dysfunctional emotions such as anxiety and depression) we used a multivariate linear regression. We obtained a values R^2 equal to 0.316, so that the model explained 31.6 of the dependent variable variance and a R^2 with a value of 0.279. The phantom limb pain and the psycho-social adapting are independent factors associated with negative dysfunctional emotions.

3.4. Discussions and conclusions

The amputation of the lower limb has a strong negative impact on the patient's quality of life and on his/her social relationships and family. The results show that only the phantom limb pain, taken independently, explains a significant part of the depression and anxiety variance contributing significantly to the regression model. These results are in compliance with those of previous studies establishing the significant relationship between the pain and the negative emotions. The psycho-social adaptation also represents an independent factor in the apparition of the negative dysfunctional emotions, indicating the important role of both the psychologist and the family in the rehabilitation process of the amputated patient. In order to improve the quality of life of the amputated patients it is required the implementation of an efficient therapy for the phantom limb pain, because of this depends the reducing of the negative dysfunctional emotions.

4. Case trial 3. The design and the concept of the immersive virtual reality, for the amputated patient with phantom limb pain

4.1. Working hypothesis

Creating an application with a simple, accessible, user friendly interface, so that the patient can concentrate on the therapeutic exercises, with a virtual environment replicating the reality, both regarding the anatomy of the limb and the environment elements.

4.2. Material and method

The tools used for this trial were the following: Google Cardboard, Unity, Firebase, C#, virtual reality glasses MYRIA MY9801. The technology necessary for the application was made of a smartphone with a memory of minimum 1.5 GB, running on at least Android ver. 6, a pair of virtual reality glasses, a gamepad controller brand VR Shinecon Bluetooth for iOS and Android (fig. 42) and Internet connection for data saving.

4.3. Results

The application is organized in three scenes. Each of the scenes has a user's interface and a scenario of objects' movement within the scenario. When the application is on, a list of users is displayed on the screen. From this list the user shall select one of the 25 profiles available. The selection is done by using the pointer on the screen. The selection process is done by positioning the pointer for 2 seconds on the user. Moving the pointer on the screen is done by moving the head. After the selection, the first scene will appear for that user. Each scene represents a different exercise, a certain type of movement. During each exercise, a set of parameters monitor the user's activity: how many times did he/she perform the exercise, how many times did he/she look at his/her leg during the exercise.

The first scene from the application requires hitting a virtual ball with the lower limb. This allows the user to make a rotation with the lower part of his/her leg. To hit the ball the patient must move his/her leg by moving the controller on its vertical axis. Changing the action on the other limb is done by pressing the iOS button on the controller.

In the second scene, the user is requested to hit a platform that is sequentially lit. The color of the platform alternates between red and green. While the platform is lit in red for 4 seconds, it remains green just for 3 seconds. The user must raise his/her foot at the red color and touch the platform when it is green. The third scene means raising the lower limb in order to touch a virtual barrier. The barrier changes color from red to green when it is touched by the limb. Unlike the other two scenes, the leg shall not automatically come back to the initial position, the moving of the limb in position being an exclusive responsibility of the user.

4.4. Discussions and conclusions

During the application's design process, it was taken into consideration the fact that most of the users could be unfamiliar with this technology, which is why the interaction with the application was thought as simple as possible.

The immersive virtual reality is a technology applicable in the medical field, opening new therapeutic options in the rehabilitation sector, including the treatment for the phantom limb pain in amputated patients, facilitating the recovery and the social-familial integration of the patient.

5. General conclusions

The IVR treatment creates in safe conditions a controlled environment for repetitive practices, practices that are essential for the learning process of the motor functions, offering immediately, in real-time, feedback regarding the performance, the patients reporting the disappearance of the phantom limb pain. The positive re-focusing and re-focusing on planning represent another important benefit of the IVR therapy, indicating the fact that the patients are directed towards positive cognitions, searching frequent feedback regarding the progress towards the goal, positively diagnosing the unfavorable situations. The phantom limb pain and the psycho-social adapting represent risk factors in the apparition of the emotional distress, depression and anxiety, with a negative impact on the rehabilitation process, delaying the prosthesis, respectively the social-familial reintegration.

6. Originality and innovative contributions of the thesis

Conceiving a small assembly represented by the use of accessible technology and of an application whose design was created and adapted specially for the critical ischemia, amputated patients, allowed the assessment of a new method of approaching the phantom limb pain treatment. The IVR therapy implementation in the recovering program could respond to some urgent necessities existing in

the medical and social level.

Both the hardware and software components used for the IVR therapy were designed to be easily accessible both from the financial and technological point of view, all the studies performed until now in this field using expensive and complex technologies requested the presence of the patient in a rehabilitation center. The system we created can be easily purchased and used daily by the patient, without requiring the presence of his/her physician or kinesiotherapist, the daily practice being an essential element in his/her recovery.