

**UNIVERSITATEA DE MEDICINĂ ȘI FARMACIE „CAROL DAVILA”**

**SISTEM MECATRONIC COMPLEX DE  
REABILITAREA MERSULUI LA PACIENȚII CU  
AFECȚIUNI NEUROLOGICE DIZABILITANTE**

---

**Rezumatul tezei**

**Coordonator Științific: Prof. Dr. Mihai Berteanu**

**Doctorand: Biolog Ileana Ciobanu**

**BUCUREȘTI 2016**

## Cuprins

Scopul și obiectivele lucrării .....	pag. 3
Motivația tezei.....	pag. 4
<b>Stadiul actual al cunoașterii</b>	
1. Mersul normal și patologic .....	pag. 6
2. Reabilitarea mersului în afecțiunile neurologice centrale – particularizare pentru accidentele vasculare cerebrale.....	pag. 8
3. Tehnologia avansată utilizată în reabilitarea mersului.....	pag.11
<b>Contribuția personală</b>	
4. Raționament decizional privind tehnologia de reabilitare a mersului .....	pag.15
5. Modelul experimental RELIVE .....	pag.17
6. Utilizabilitatea modelului experimental al sistemului RELIVE – studiu ....	pag.23
<b>Noul sistem vine cu noi concepte.....</b>	<b>pag.26</b>
<b>Concluzii generale .....</b>	<b>pag.28</b>
Bibliografie selectivă .....	pag.29

## ***Scopul lucrării***

Dezvoltarea unei noi tehnologii de reabilitare a mersului

## ***Obiectivele lucrării***

1. Evidențierea complexității deficitelor de ambulație din condițiile neurologice.
2. Crearea unui tablou sintetic al tehnologiei actuale de reabilitare a mersului.
3. Construirea unui raționament decizional care permite alegerea tipului adecvat de tehnologie pentru antrenamentul de mers.
4. Definierea conceptelor transdisciplinare care stau la baza raționamentului sistemului RELIVE.
5. Dezvoltarea raționamentului de construire a sistemului mecatronic de reabilitare a mersului RELIVE.
6. Evaluarea utilizabilității modelului experimental RELIVE.
7. Evidențierea importanței interdisciplinarității și transdisciplinarității în dezvoltarea de tehnologii de reabilitare.
8. Evidențierea importanței continuității activității de cercetare în reabilitarea medicală.

## Motivația tezei

Numărul din ce în ce mai mare de persoane cu dizabilități necesită un consum din ce în ce mai mare de forță socială orientată către activitatea de îngrijire. Aceasta duce la cheltuieli medicale din ce în ce mai mari, având un impact negativ asupra sistemului de sănătate și asupra economiei. Devine imperativă găsirea de soluții care să asigure tratament de recuperare și asistență de calitate pentru cei în nevoie, fără blocarea unei forțe importante de muncă în sectorul asistiv.

Dizabilitate înseamnă nu numai consumuri și costuri ridicate, atât sociale cât și de îngrijire, ci înseamnă o viață ruinată, sub toate aspectele, și afectează nu doar persoana suferind de condiția patologică traumatică sau medicală generatoare de dizabilitate, ci și întreaga familie a pacientului, întregul mediu social și economic al persoanei. Dizabilitatea nu este o problemă personală. Este o condiție socială. Este o problemă a societății. De aceea, trebuie să folosim resursele Medicinii de Recuperare și să ne străduim să descoperim noi instrumente pentru a-i ajuta pe cei afectați de dizabilități să-și recâștige abilitățile funcționale, precum și instrumente capabile să îi ajute pe cei afectați de dizabilități să se reintegreze în viața socială și profesională.

Conceptul de dizabilitate este rezultatul unei abordări integraliste, holistice a ființei umane. Termenul de dizabilitate face referire la complexitatea unui fenomen în dinamică, nu la o stare de fapt ce surprinde un deficit funcțional evaluat în condiții de laborator. Abordarea biopsihosocială recomandată de Organizația Mondială a Sănătății, creatorii Clasificării Internaționale a Funcționării, Dizabilității și Condiției de Sănătate<sup>1</sup> permite definirea dizabilității drept complexul de afectări, limitări de activitate și restricții de participare derivate din acestea în cadrul factorilor contextuali.

Capacitatea de funcționare și nivelul de dizabilitate se prezintă ca rezultate dinamice ale interacțiunii dintre starea de sănătate fizică și psihoemoțională a persoanei și factorii contextuali. Dizabilitatea afectează toate aspectele existenței persoanei afectate. Dizabilitatea indică în fapt capacitatea restrânsă persoanei de a se manifesta în cadrul situațiilor de viață și reprezintă nu doar o afectare funcțională a persoanei, cât și o problemă a societății în sine.

Entitățile generatoare de dizabilitate sau asociate cu aceasta (favorizante, agravante, factori ce împiedică sau întârzie reabilitarea) sunt multiple. Nu există metode convenite de comun acord pentru estimarea costurilor directe și indirecte ale dizabilității. Dintre dizabilități, o categorie importantă o reprezintă dizabilitățile de ambulație.

Recuperarea capacității de mers reprezintă un obiectiv principal al specialității de Medicină de Reabilitare - Medicină Fizică și de Recuperare. Libertatea de mișcare și versatilitatea funcțională permite adaptarea membrelor inferioare la mers și alergat cu diferite viteze, mers pe planuri înclinate sub diverse unghiuri, urcat/coborât scări, pășit și sărit peste obstacole, mers pe suprafețe cu diferite texturi și grade de stabilitate, mers cu fața, cu spatele, mers lateral, mers pe vârfuri și călcâie, întoarceri, dans. Datorită numeroaselor oportunități oferite de mers, persoanele cu dizabilități de ambulație se străduiesc să-și recapete această funcție, ca determinant important al independenței lor funcționale și al capacității lor participative, chiar în cazul unei afectări severe. Chiar și persoanele cu mobilitate redusă petrec până la 30% din timpul destinat terapiei fizice în activități de mers. <sup>2</sup>

Când variatele tipuri de patologie (neurologică, musculo-scheletală) alterează mobilitatea articulară și eficiența musculară și nervoasă, pacientul descoperă și își însușește reacții compensatorii ale segmentelor adiacente. Patternul rezultat este un amestec de mișcări normale și anormale, cu eficiență redusă și consum energetic crescut. Atât versatilitatea funcțională cât și stabilitatea sunt compromise, iar menținerea pe termen lung a acestui pattern poate induce destabilizarea funcțională și afectarea structurală a segmentelor solícitate nefiziologic. <sup>3,4</sup> Timpul necesar și costul energetic al unui astfel de pattern de mers sunt superioare celor corespunzătoare mersului fiziologic. <sup>5</sup>

Teza are ca obiect realizarea unui sistem mecatronic pentru reabilitarea mersului. Teza este structurată în două părți: partea generală și contribuția originală a doctorandei.

Partea generală reprezintă rezultatul muncii de documentare și sinteză a doctorandei privind mersul normal și patologic (cu exemplificare pe mersul în accidentele vasculare cerebrale – cauza generatoare de dizabilitate cea mai importantă actualmente în Europa) și tehnologia dezvoltată în lume destinată recuperării mersului.

Contribuția originală include raționamentul alegerii tipului de sistem pentru reabilitarea mersului, raționamentul care a stat la baza dezvoltării fiecărui element al sistemului mecatronic RELIVE, alături de descrierea sistemului și subsistemelor componente, urmate de dezvoltarea conceptelor noi introduce odată cu tehnologia originală dezvoltată pentru acest sistem, și studiul de utilizabilitate a modelului experimental al sistemului mecatronic dezvoltat, studiu realizat cu ajutorul personalului specializat în mMedicină de Recuperare al Clinicii de Recuperare Medicală a Spitalului Universitar de Urgență Elias, și al personalului tehnic implicat în realizarea sistemului.

# STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII

## 1. Mersul normal și patologic

Mersul reprezintă modalitatea naturală de deplasare a corpului uman de la o locație la alta. Este o caracteristică inerentă a omului, și suntem atât de obișnuiți cu „a merge”, încât nu mai privim mersul ca pe un mod de transport. Cu toate acestea, chiar și în cele mai motorizate societăți, mersul rămâne o componentă importantă a oricărei călătorii și, pentru o mare parte a populației, mersul este un hobby sau chiar un sport. Mersul reprezintă și acum cel mai avantajos mijloc de transport pe distanțe scurte.<sup>6</sup> Promovarea mersului este de importanță prioritară în Uniunea Europeană.<sup>7</sup>

**Mersul normal** implică adaptarea morfo-funcțională corespunzătoare a sistemului nervos și a aparatelor locomotor, cardiovascular și respirator, necesitând o coordonare perfectă a mișcărilor elementelor structurale implicate în aceasta activitate, în condiții de economie energetică și funcțională. Mersul, la rândul său, stimulează funcționarea normală a tuturor aparatelor și sistemelor organismului uman, îmbunătățește stima de sine și creează bună dispoziție.

**Restricțiile de mers** pot apare la orice vârstă, iar condițiile dizabilitante sunt multiple, accidentale sau patologice. Vorbim despre afecțiuni inflamatorii și degenerative, ca și de traumatisme ce interesează integritatea și funcționalitatea elementelor aparatelor locomotor, respirator și cardiovascular, afecțiuni neurologice centrale și periferice, sindroame algice de etiologie diversă, afecțiuni metabolice, condiții patologice sau legate de vârstă și care privesc capacitatea senzorială și psihismul persoanei (din punct de vedere emoțional, cognitiv, motivațional, volițional). Un important factor de risc implicat în deconținerea organismului uman și a mersului o reprezintă sedentarismul, cu patologia asociată. Un rol important în patologia mersului au afecțiunile neurologice centrale.

Totalul pacienților cu deficit de ambulație internați pe durata anului 2011 în Clinica de Recuperare Medicală a S.U.U.Elias a fost de 339. Dintre aceștia, 287 au prezentat un indice de ambulație funcțională (indicele Functional Ambulation Category)<sup>8</sup> cu valori de la 0 (pacientul nu poate merge, sau necesită ajutor din partea a 2 sau mai multe persoane) la 2 (pacientul necesită ajutor permanent sau intermitent din partea unei persoane pentru susținerea greutății și pentru menținerea echilibrului)<sup>9</sup>, necesitând susținere pentru realizarea și menținerea posturii bipede, ca și asistare pentru inițierea și performarea oricărei forme de ambulație bipedă. Dintre acestea, 209

(73%) sunt persoane care au suferit un accident vascular cerebral, prezentând diferite grade de pareză de hemicorp. De aceea, am considerat oportun ca exemplificarea patologiei de mers și a strategiilor de reabilitare să se refere, în cea mai mare parte, la persoanele cu status funcțional post accident vascular cerebral.

**Mersul hemiplegicului** este caracterizat de balansarea anormală a membrului superior afectat, cu brațul purtat în adducție, cu flexie de umăr, cot, pumn, degete și, în majoritatea cazurilor, cu sinergia extensorilor membrului inferior afectat, cu extensie, adducție și rotație internă la nivelul șoldului, extensie susținută a genunchiului, plus flexie plantară și inversie. Persoana dizabilitată pășește lent, faza de sprijin este prelungită, lungimea pașilor este redusă, apare o circumducție a membrului inferior din șold, pentru a putea elibera planta de pe sol (mers cosit). Ca mecanisme compensatorii apar ridicarea șoldului afectat, pentru lipsa de flexie a genunchiului, deplasarea laterală redusă a centrului de greutate spre partea afectată, atacul cu talonul lipsește (datorită flexiei plantare).<sup>10</sup> Partea superioară a trunchiului este înclinată ușor de partea opusă membrului inferior aflată în mișcare.

Acest pattern deformat al mersului afectează capacitatea individului de a realiza deplasarea pe suprafețe denivelate cu pantă sau cu perturbații de nivel, capacitatea sa de a realiza activitățile zilnice de autoîngrijire, precum și performanța sa socială.

**Deficitele funcționale post-accident vascular cerebral** sunt multiple. Intervențiile medicinei de reabilitare vor fi alese în funcție de aspectele fiziopatologice prezentate de subiecții afectați, și de deficitele funcționale prezente, care includ:

- Tulburări motorii asociate cu deficit de forță musculară, deficit de echilibru și de coordonare (pareze de diferite grade de severitate, paralizii ce afectează membre, trunchi, față, sfinctere aflate sub control voluntar).
- Tulburări de sensibilitate superficială (tactilă, termică cu diferite grade de hipoestezie), sensibilitate profundă sau mixte.
- Tulburări și deficite senzoriale, perceptivă și cognitive.
- Fenomene dureroase – atât în afecțiuni neurologice periferice (durere de tip nevralgic sau nevritic) cât și în afecțiuni neurologice centrale (durere de tip talamic).
- Tulburări vegetative.
- Tulburări ale reflexelor osteo-tendinoase cu areflexie/hiperreflexie în sindrom de neuron motor central (sau hiporeflexie în sindrom de neuron periferic).
- Dizartrie, disfagie, afazie receptivă/expresivă/mixtă și apraxie verbală.

## **2. Reabilitarea mersului în afecțiunile neurologice centrale – particularizare pentru accidentele vasculare cerebrale**

Hemipareza post accident vascular cerebral și strategiile de reabilitare a persoanei supraviețuitoare unui accident vascular cerebral (AVC) sunt cele mai studiate aspecte ale reabilitării neurologice. Aproape 88% dintre pacienții cu AVC acut vor prezenta o parază de hemicorp.<sup>11</sup> Desfășurarea temporală a recuperării motorii a fost descrisă de către autorii studiului Copenhagen Stroke Study: 95% dintre persoanele ce prezintă hemipareză după accidente vasculare ajung la cel mai bun nivel de recuperare în primele 11 săptămâni de la debutul accidentului. Pacienții cu accidente cu grad moderat de severitate recuperează mai repede decât cei cu accidente vasculare severe, care ating cel mai bun nivel neurologic, în medie, în primele 15 săptămâni de la debutul accidentului vascular cerebral.

În general, cel mai important proces de recuperare motorie (ca intensitate și câștiguri funcționale) are loc în primele 3 luni, la 6 luni de la debut obținându-se deja doar mici progrese, ce pot fi totuși cuantificate.<sup>11,12</sup> Practica medicală curentă a echipei medicale din cadrul Clinicii de Reabilitare Medicală a Spitalului Universitar de Urgență Elias indică faptul că se pot observa îmbunătățiri ale controlului voluntar asupra mișcărilor și îmbunătățiri ale coordonării acestora chiar și la 3 ani de la accidentul vascular cerebral.

În faza acută post AVC se poate observa o revenire funcțională asociată și proporțională cu stabilizarea leziunii cerebrale (reducerea edemului, fenomenele din aria periischemică). Recuperarea neurologică ulterioară și, implicit, îmbunătățirea aspectelor funcționale, sunt determinate și susținute de un proces de reorganizare structurală și funcțională la nivelul sistemului nervos central.

Fenomenul care stă la baza acestor mecanisme este neuroplasticitatea. În ultima perioadă, cercetarea în domeniul neuroștiințelor a înregistrat un real progres reușind să demonstreze faptul că după o leziune, și creierul uman adult este capabil de plasticitate adaptativă<sup>13</sup>. La acest mecanism se adaugă cele de diaschiză și de reorganizarea zonelor preinfarct, cu dezactivarea zonelor asociate funcțional celor lezate și activarea hărților motorii din cortexul motor. Această formă de plasticitate, cunoscută ca și reorganizarea vicariusului se referă la posibilitatea ca regiuni sănătoase ale creierului să preia funcțiile celor lezate. Se asociază, de asemenea, reorganizarea activității în întreaga emisferă ipsilaterală, ca și în cea contralaterală (mai ales în fazele inițiale ale procesului de reabilitare).<sup>13,14</sup>

Rezultatele a numeroase studii indică faptul că intervențiile de Medicină de Reabilitare îmbunătățesc statusul funcțional al persoanelor cu hemipareze după accidente vasculare



cerebrale, dar nu s-a găsit până acum un program de reabilitare a mersului care să dovedească eficiență superioară celorlalte.<sup>15</sup>

### **Intervenția de reabilitare a mersului după accidente vasculare cerebrale**

Pornind de la necesitățile specifice determinate de aceste fenomene, programul de reabilitare va avea ca **obiective generale**:

- Prevenirea cronicizării disfuncțiilor, prevenirea distrofiilor și distoniilor,
- Reducerea deficitelor
- Recuperarea funcționalității, a capacității participative

**Scopul final al intervențiilor de reabilitare** este reprezentat de reducerea gradului de dizabilitate și îmbunătățirea nivelului de independență funcțională, precum și creșterea capacității participative a persoanei.

Ca intervenții ce au ca obiectiv principal îmbunătățirea mersului, echilibrului și mobilității, ghidurile de practică clinic recomandă:

- Antrenamentul fizic de mers, cu nivelul de asistență necesar
- Antrenamentul cu sarcină de lucru repetitiv
- Antrenament pentru creșterea forței musculare
- Aceleași ghiduri recomandă creșterea gradată a intensității antrenamentului și personalizarea intervențiilor

Mersul este o întreprindere multidimensională. Activitățile de mers la domiciliu și în comunitate sunt complexe și solicitante, ca urmare a stimulării senzoriale multifactoriale, a necesității unei abilități antrenate de a face față solicitărilor multiple simultane (multitasking) și a riscurilor implicate ca urmare a factorilor de mediu necontrolabili. În aceste condiții, mersul nu mai reprezintă, ca în cazul mersului în laboratorul de kinezoterapie, un scop în sine, ci un mijloc pentru performarea altor acțiuni, întreprinderi, și pentru atingerea altor obiective.

**Un program de bază pentru reabilitarea mersului** trebuie să asigure reantrenarea posturii, a echilibrului static și dinamic, a forței musculare și controlului mișcării și coordonării, a pășirii, și apoi a mersului. Principalii factori determinanți ai recăpătării unui mers funcțional după un AVC rămân specificitatea sarcinilor și intensitatea programului de reabilitare.<sup>16,17</sup>

Pentru a obține un **mers funcțional**, trebuie să ținem cont de faptul că mersul, deși reprezintă o activitate în sine, este, în mare parte, folosit pentru a realiza o gamă largă de alte activități complexe, în diferite contexte și condiții, determinând capacitatea participativă a persoanei.

**Mersul – ambulația propriu-zisă - în interiorul locuinței sau al locului de muncă,** necesită abilități de mers pe diferite substraturi cu diferite texturi, evitarea obstacolelor de

diferite forme, mărimi și consistențe, capacitatea de întoarcere, urcarea și coborârea scârilor, abordarea și menținerea a diferite posturi și poziții, pentru a ajunge la și pentru a putea utiliza diferite obiecte și aparatura necesară diferitelor activități.

**Mersul în aer liber** necesită abilități suplimentare: abilitatea de a-și menține echilibrul și de a merge pe suprafețe rugoase, alunecoase, înșelătoare și/sau cu diferite grade de înclinare, abilitatea de a calcula viteze și direcții se mers ale diferitelor persoane, obiecte, pentru a permite sau a evita contactul cu acestea, abilitatea de a-și schimba viteza și direcția de mers, cadența pașilor, forța de reacție a solului, etc, oricând este nevoie, în timp util; abilitatea de a menține cât timp este necesar o traiectorie optimă către o anumită destinație; abilitatea de a se descurca în diferite condiții de iluminat, vizibilitate și de sunet.

**Ambulația în comunitate** presupune, de asemenea, abilitatea de a-și administra spațiul personal și pe al celorlalți, ca și abilitatea de a performa mai multe sarcini în același timp, ca și abilitatea de a accesa și utiliza diferite mijloace de locomoție, în funcție de necesități.<sup>18</sup>

Toate acestea se pot obține doar prin antrenarea conștientizării și percepției de sine și a mediului, cu participarea activă implicată a pacientului. De aceea, cogniția, emoția, dispoziția, motivația și voința trebuie și ele supuse antrenamentului, ca și simțul coerenței.<sup>19,20,21,22</sup>

Pentru o intervenție eficientă de reabilitare, pacientul trebuie să fie abordat într-o manieră holistică. Un mediu „ajutat”, îmbogățit în stimuli, utilizarea tehnicilor de biofeedback, a imageriei mentale și a sarcinilor ce trebuiesc performate simultan îmbunătățesc neuroplasticitatea și funcționalitatea și conduc la rezultate superioare calitativ ale programelor de reabilitare.<sup>23</sup>

Pentru performarea antrenamentului de mers pentru diferitele niveluri de ambulație, pentru asigurarea complianței la terapie, ca și pentru performarea tuturor activităților zilnice, este nevoie ca persoana să manifeste un anumit nivel al abilităților cognitive și voliționale.

Două treimi dintre pacienții cu accidente vasculare cerebrale experimentează deficite sau declin cognitiv după accident. O treime dintre pacienții post accident vascular dezvoltă diferite forme de demență.<sup>24,25</sup>

Deficitele cognitive reduc performanța intervențiilor de reabilitare și afectând abilitatea acestor persoane de a performa activitățile zilnice, având drept urmare reducerea calității vieții acestor persoane și a familiei acestora. În funcție de localizarea și dimensiunile leziunii cerebrale, sunt afectate unul sau mai multe domenii cognitive (atenție, memorie, judecată, calcul mental, percepție vizuo-spațială, limbaj, funcții executive) alături de personalitate și afect. În reabilitarea acestor persoane, intervenția de stimulare cognitivă și consiliere psihologică, prin mijloacele specifice psihologiei clinice și afaziologiei, devin absolute necesare, pentru un rezultat pozitiv al întregului demers de reabilitare.<sup>26, 27, 28</sup>

### 3. Tehnologia avansată utilizată în reabilitarea mersului

Tehnologia de recuperare se referă la totalitatea instrumentelor utilizate în scopul stimulării revenirii în plaja de valori optime a parametrilor ce definesc funcțiile de relație ale persoanei suferinde de afecțiuni cu potențial dizabilant.

Tehnologia asistivă (tehnologiile asistive) reprezintă totalitatea dispozitivelor (de la cele mai simple, până la cele mai complexe) utilizate în medicina de recuperare în vederea suplinirii funcțiilor fizice și/sau cognitive incomplete ale persoanei cu dizabilități, precum și totalitatea procedurilor prin care sunt obținute aceste dispozitive (de la design și tehnologia necesară producerii lor, până la producerea lor efectivă – și uneori, și marketarea acestora).

În momentul de față, asistăm la o schimbare de concepție în domeniul tehnologiei asistive. Domeniul tehnologiei de asistare se suprapune din ce în ce mai mult cu cel al tehnologiei de recuperare.

Aceste instrumente asigură atât beneficii pentru procesul de recuperare propriu-zis, prin posturarea corectă, posibilitatea executării unor sarcini altfel imposibile, ducând la antrenarea funcțiilor ce se pot recupera, și stimulare a motivației participării active a pacientului în procesul de recuperare, precum asigură totodată și asistența necesară în cazul în care dizabilitatea are caracter permanent și definitiv. De asemenea, un dispozitiv de antrenament sau asistiv devine multivalent, putând fi adaptat ușor pentru a servi necesităților reabilitării funcționale în condiții medicale diverse.

**Tehnologia avansată** pune la dispoziția noastră în momentul de față și multiple aplicații medicale ale sistemelor ce îmbină cibernetică cu electronica, mecanica și ingineria, cu alte cuvinte, aplicații ale mecatronicii.

**Mecatronics de recuperare medicală** pune la dispoziția beneficiarilor instrumente complexe cu funcție terapeutică și cu funcție asistivă. Discutăm despre sisteme ce conțin polimeri electroactivi și mușchi artificiali, membre artificiale inteligente, exoschelete cu rol de susținere și suplinire a funcțiilor senzoriale și neuromotorii, dispozitive de asistență cognitivă, mergând până la interfețe creier-computer, roboți cu funcție de stimulare a funcțiilor nervoase și locomotorii și pentru biofeedback, pe lângă robotica implicată în diagnostic, evaluare și monitorizare.

La conceperea unui sistem mecatronic de reabilitare trebuie să se țină seama de două elemente:

- a. Neuroplasticitatea - este un subiect major de discuție și un important obiect al cercetării științifice din ultimii ani. Neuroplasticitatea și regenerarea neuronală sunt strâns legate de activitatea voluntară.

b. Feedback-ul – care este esențial pentru a crește interesul și motivația pacientului și pentru a îmbunătăți progresul funcțional și participative al acestuia.

Un sistem de reabilitare eficient trebuie:

- Să aducă maxim de beneficii în ce privește stimularea neuroplasticității și creșterea capacității funcționale (cu necesitatea stimulării atenției și motivației).
- Să permită individualizarea, pentru asigurarea asistării raționale și a unui feedback sensibil.

Recuperarea în afecțiuni neurologice centrale și periferice de patologie diversă este principala beneficiară a tehnologiei moderne de recuperare. Mecatronica de recuperare neurologică se adresează pacienților cu importante limitări funcționale datorate spasticității și slăbiciunii musculare, lipsei de coordonare, durerii și afectării cognitive, care sunt rezultatul accidentelor vasculare cerebrale, paraliziei cerebrale infantile, traumatismelor cerebrale și vertebro-medulare, condiții importante generatoare de dizabilități.

### **Instrumentele tehnologiei de reabilitare cu funcție de dispozitiv de antrenament**

Există astăzi și sunt utilizate în practica de reabilitare de reabilitare a mersului numeroase sisteme ce pot fi utilizate independent sau asociate cu sisteme de susținere parțială a greutatei, realitate virtuală, senzorială inerțială, și tehnologie persuasivă. Majoritatea acestor dispozitive se încadrează în categoria instrumentelor robotice. Aceste sisteme pot fi clasificate, în funcție de relația sistem – persoană și de scopul prim al utilizării lor, în:

- **Sisteme robotice efector** – utilizate ca instrumente pentru antrenament specific. Acestea provin prin adaptarea unor dispozitive robotice industriale. Utilizează o bază staționară robotică. Mobilizează segmente unele în raport cu celelalte, pentru antrenarea anumitor mișcări, pentru menținerea anumitor unghiuri de mișcare. Sunt sisteme staționare de antrenament ce pot lucra în regim gravitațional sau fără referință la acesta. Se pot adresa membrilor inferioare ca întreg (MotionMaker, Biodex) sau doar unei articulații (Rutgers Ankle, IIT-HPARR, AKROD, Leg-Robot, NUVABAT). Se folosesc pentru antrenamente tip pasiv și activ asistat cu sau fără rezistență.<sup>29</sup>
- **Sisteme robotice tip exoschelet** – utile atât pentru antrenament formal cu verticalizare cât și pentru asistare în activități ce implică ambulația (permițând astfel un antrenament de mers informal). Aceste dispozitive au contact cu persoana în mai multe puncte cheie și pot controla coordonarea mișcărilor și pot urmări particularitățile posturilor și mișcărilor persoanei. Au mai puține grade de libertate în cadrul mecanismului persoană – robot, dar permit mai multe grade de libertate mecanismului persoană - robot în mediul înconjurător. Se pot utiliza ca atare, ca subsisteme ale unui sistem complex fix de antrenament, sau ca

subsisteme ale unui sistem ortotic complex ce asigură independență funcțională relativă, pentru antrenament de mers pe sol. Regimul de antrenament este unul activ asistat.<sup>29</sup> Aceste orteze cu grad variabil de complexitate se combină cu dispozitive de stimulare electrică funcțională coordonată prin semnale biologice (semnale electromiografice sau electroencefalografice), cu subsisteme de susținere a greutateii și cu sisteme robotizate de tip suprafață de mers.

Instrumentele tehnologiei de reabilitare au de fapt funcție mixtă – toate dispozitivele asistive ce asigură independență funcțională relativă cresc capacitatea participativă și stimulează antrenamentul funcțional prin implicare direct în activitățile susținute.

Aceste sisteme de antrenament pot prezenta mecanisme de biofeedback – de la:

- Simplu feedback sonor sau vizual, indicând rezultatul în mod cuantificat sau nu (sisteme cu sau fără electrostimulare).
- Feedback stimulat, motivant, legat de performanța activității performate (mai ales sistemele cu realitate virtuală).
- Feedback complex legat de poziția segmentelor implicate în mișcare, unghiuri și parametri de activitate (sistemul CAMONAL, de exemplu).<sup>30</sup>

În funcție de complexitatea afectării funcționale, este recomandată utilizarea unui dispozitiv sau a altuia.<sup>31</sup> În cazul pacienților aflați în stadiul acut, se recomandă utilizarea dispozitivelor de antrenament de tip efector, fără verticalizare la început.<sup>32</sup> În cazul pacienților nonambulatori, în stadiul subacut, efectele utilizării bandei de mers cu susținerea parțială a greutateii va fi mai avantajoasă decât antrenamentul de mers pe sol.

Combinățiile adecvate ale diverselor abordări terapeutice asistate tehnologic dau rezultatele cele mai bune.<sup>33, 34</sup>

Necesarul pentru un antrenament de mers pentru persoanele cu hemipareze post accident vascular include:

- Dispozitive ce să permită desfășurarea de exerciții pasive, active asistate și active fără rezistență pentru toate segmentele de mișcare și exerciții funcționale complexe, pentru îmbunătățirea tuturor abilităților necesare desfășurării activităților de mers și a activităților vieții zilnice, cu asigurarea descărcării de sarcină pentru reducerea efortului.
- Spațiu dedicat acestor activități, cu condiții de mediu controlate, fără intruziuni perturbatoare, dar cu posibilitatea executării de exerciții cu sarcini multiple simultan și a monitorizării persoanei ca întreg.
- Măsuri de siguranță pentru evitarea dezechilibrării excesive, rănilor și căderilor.

Intervențiile trebuie să fie variate, adaptabile, cuantificabile (intensitate, viteză și complexitate crescândă), repetabile, să nu suprasolicite terapeuții și pacientul. Antrenamentul de mers eficient include: antrenament de control postural, antrenament de echilibru, antrenament pentru dezvoltarea abilităților de mers, antrenament senzitivo-senzorial, cognitive și motivațional.

Nu se recomandă utilizarea de rutină a acestor dispozitive, ci selectarea pacienților beneficiari, pe baza unui raționament clinic informat.<sup>35,36</sup>

Dintre beneficiile utilizării mecatronicii de reabilitare amintim:

- Dă un sentiment stabil și profund de independență și încredere beneficiarului.
- Îmbunătățește forța musculară și controlul motor și menține / îmbunătățește amplitudinile de mișcare.
- Permite întreruperea sinergiilor.
- Permite reînvățarea relațiilor senzitivo-senzorial-motorii.
- Asigură îmbunătățirea performanțelor funcționale
- Ajută la înțelegerea modelelor complexe ale controlului motor

Evident, atât proiectarea cât și aplicarea în practică a tuturor dispozitivelor de tehnologie de recuperare necesită o **colaborare interdisciplinară susținută**, realizările actuale în domeniu fiind rezultatul muncii de echipă a specialiștilor în software și robotică, cercetătorilor din domeniile medical, kinematic, tehnic, electronic, militar, sportiv, psihologi, filosofi, specialiști în bioetică și, nu în ultimul rând, a specialiștilor din clinicile de recuperare medicală și neurologică și a pacienților acestora.

Mecatronics reprezintă o sursă importantă de instrumente de diagnostic funcțional și tratament pentru reabilitarea mersului și prezintă un interes deosebit din partea lumii științifice preocupate de reabilitarea neuromotorie, dovadă fiind și numeroasele proiecte de cercetare-dezvoltare privind sisteme mecatronice pentru reabilitare, finanțate pe plan național și european, ca și demersuri având ca scop stimularea colaborării multidisciplinare la nivel european în acest domeniu - Acțiunea TD1006 a European Cooperation in Science and Technology (COST) - European Network on Robotics for NeuroRehabilitation<sup>37</sup> și demersuri având ca scop stimularea transdisciplinarității la nivelul învățământului superior - proiectul de Master European Advanced Rehabilitation Technologies (EU MSc).<sup>38</sup>

Se impune găsirea de soluții cost-eficiente, centrate pe persoana, adaptabile permanent la cerințele complexe ale unui antrenament funcțional personalizat.

## CONTRIBUȚIA PERSONALĂ

Am avut drept scop crearea unui nou sistem de reabilitare a mersului, capabil să răspundă majorității cerințelor unui sistem ideal de antrenament. Pentru aceasta, am identificat necesarul unui astfel de sistem, am comparat costurile și beneficiile conceptelor și sistemelor existente și am creat conceptul și proiectul sistemului pe care l-am denumit RELIVE. Realizarea fizică a sistemului a fost posibilă în cadrul unui proiect național de cercetare-dezvoltare finanțat prin U.E.F.I.S.C.D.I. (contract nr. 190/2012). Denumirea proiectului: 3-D Mechatronic Reality System for Rehabilitation Learning in Real and Virtual Integrated Environments.

### 4. Raționament decizional privind tehnologia de reabilitare a mersului

Sistematizând informațiile privind diferitele sisteme de antrenament de mers, putem crea un tablou sintetic ce poate ușura decizia alegerii sistemului de utilizat, în funcție de obiectivul specific al antrenamentului de mers (Tabel nr. 1).

Tabelul nr. 1. Tipul de tehnologie recomandabilă în funcție de obiectivul antrenamentului  
(Ciobanu I., 2016)

Tip antrenament	Obiectiv antrenament	Tip tehnologie	Concept
Antrenament analitic	Echilibru, propriocepție	Biofeedback Simulator de mers Realitate virtuală fără imersie Covor rulant cu SSG	Pacientul urmează sistemul
	Postură		
	Forță musculară		
	Control mișcare		
	Coordonare mișcări		
Antrenament sintetic	Mers în condiții de laborator	Realitate virtuală cu imersie Sisteme mecatronice de mers pe sol cu SSG	Sistemul urmează pacientul
	Mers funcțional la domiciliu		
	Ambulație comunitară		

Raționamentul alegerii tipului de sistem ce ar trebui ales și proiectat ca îndeplinind caracteristicile cele mai potrivite pentru efectuarea unui antrenament de mers cât mai complex și mai eficient este sintetizat în Figura nr. 1.

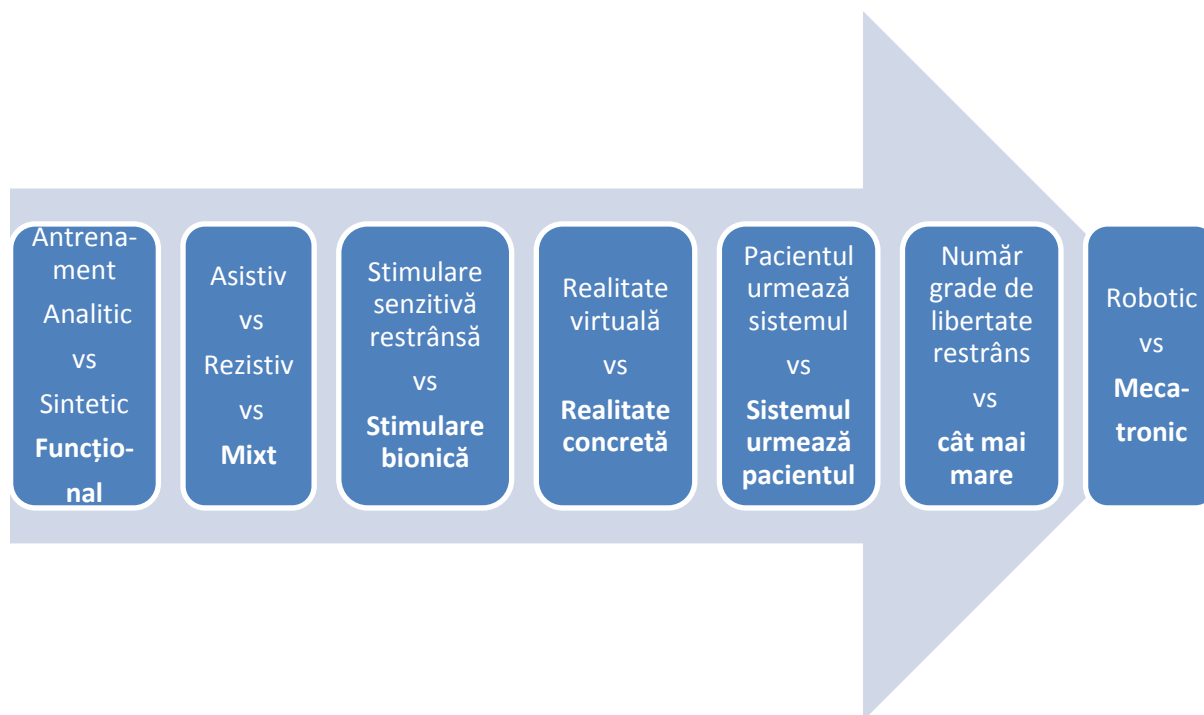


Figura nr. 1. Raționament tip șir decizional pentru alegerea tipului de sistem de proiectat (Ciobanu I., 2016)



## **5. Modelul experimental al Sistemului Mecatronic de Rehabilitare a Mersului RELIVE**

Echipa noastră multidisciplinară s-a hotărât să își concentreze eforturile în crearea unui nou sistem de rehabilitare a mersului, capabil să răspundă majorității cerințelor unui sistem ideal de antrenament. De aceea, am identificat necesarul unui astfel de sistem, am folosit principiile ingineriei inverse pentru a crea o imagine de ansamblu a tehnologiei existente, am comparat costurile și beneficiile conceptelor și sistemelor existente și am creat conceptul și proiectul sistemului pe care l-am denumit RELIVE.

### **Soluția RELIVE**

Sistemul RELIVE este un sistem mecatronic care asigură efectuarea unui antrenament de mers pe sol asistat activ, într-un spațiu tridimensional versatil.

Sistemul mecatronic de realitate 3D pentru recuperarea ambientală a pacienților cu afecțiuni neurologice este un sistem mecatronic creat și dezvoltat în cadrul unui proiect național de cercetare-dezvoltare (Proiect nr. 190/2012), în cadrul unui parteneriat național coordonat de către Universitatea Politehnică București.

**Sistemul RELIVE** este alcătuit din mai multe subsisteme coordonate:

1. Subsistemul de grinzi și stâlpi de susținere.
2. Subsistemul de motoare electromecanice.
3. Subsistemul de susținere a greutății pacientului.
4. Subsistemul de senzori de presiune/forță.
5. Subsistemul de comandă și control a deplasării pacientului.

Subsistemul de susținere este reprezentat de un ansamblu de stâlpi de susținere fixați în scheletul de rezistență al încăperii destinate, ce susțin un subsistem de 4 grinzi fixe ce alcătuiesc cadrul spațiului terapeutic definit, și o grindă mobilă. Antrenat de activitatea motoarelor electrice din subsistemul aferent, subsistemul de susținere a greutății pacientului se deplasează pe grinda mobilă și odată cu aceasta. Astfel, RELIVE permite mișcarea liber aleasă sau prestabilită a utilizatorului în spațiul tridimensional definit de sistem și destinat rehabilitării mersului (spațiu terapeutic), în condiții de siguranță, pentru un antrenament care să implice persoana ca întreg.

Această abordare originală permite antrenarea unei game largi de utilizatori posibili, cu diferite condiții medicale generatoare de dizabilități de ambulație (afecțiuni neurologice, musculoscheletale degenerative sau traumatice, ortopedice, afecțiuni cardiovasculare și

respiratorii). Pentru a îmbunătăți postura și stabilitatea pacientului, subsistemul de susținere a greutateii pacientului este asistat de o coloană verticală prevăzută cu un cadru pelvin ajustabil. Antrenarea deplasării coordonate a membrelor inferioare în realizarea ciclului de mers este asistată activ de către un dispozitiv dedicat ce deplasează pe verticală, în mod alternativ, cele două puncte de legătură cu hamul de susținere a greutateii. Unele elemente ale sistemului sunt în curs de brevetare.

RELIVE permite mersul utilizatorului în spațiul tridimensional, rotații de 360 de grade în jurul propriei axe, cu menținerea posturii și controlul mișcărilor centurii pelvine, în condiții de siguranță și cu menținerea controlului asupra echilibrului și asupra deplasării centrului de masă. susținere a greutateii pacientului ajustabil se poate deplasa pe traiectorii predefinite sau liber alese în spațiul terapeutic definit de sistem, în regim de mers pasiv (pacientul urmează sistemul acționat de către terapeut) și în regim de mers activ (sistemul monitorizat și ajustat de către terapeut urmează deplasarea subiectului).

Modelul experimental RELIVE (MER) trebuie să realizeze diverse programe de antrenament de recuperare neuromotorie complexă a persoanelor cu dizabilități ale aparatului locomotor, prin combinarea unor programe tipice de mers cu stimularea cognitivă adecvată realizării acestor activități. Sistemul trebuie să permită realizarea unui antrenament al persoanei ca întreg. Vor fi antrenate atât funcțiile executive motorii, cât și funcțiile senzitivo-senzoriale și activitățile nervoase superioare.

**Subsistemul de grinzi și stâlpi de susținere** are ca funcții delimitarea spațiului terapeutic, susținerea mecanică și asigurarea stabilității elementelor mobile, a actuatorilor și, nu în ultimul rând a pacientului. O atenție deosebită s-a acordat calculării rezistenței ansamblului și realizarea a mai multe elemente de siguranță: contrafortuirea bazelor de susținere și conexiunilor dintre elemente, mai multe puncte de fixare pentru fiecare pereche de elemente (fig nr.), ancorarea stâlpilor de susținere în pereții încăperii.

Pentru stabilirea dimensiunilor utile ale subsistemului s-a întreprins o cercetare bibliografică de antropometrie funcțională. Proiectarea habitatelor, locurilor de muncă, elementelor de mobilier, etc, se poate realiza ținând cont de valorile medii ale parametrilor antropometrici structurali și funcționali, dar obiectul/dispozitivul va fi accesibil și util unui număr maxim de utilizatori dacă la proiectare se va ține cont de parametrii funcționali extremi.

Pentru a stimula participarea activă a pacientului la antrenamentul de mers, dimensiunile spațiului terapeutic delimitat de sistem trebuie să contribuie, alături de alți factori (siguranța percepută relativ la utilizarea actuatorilor electromecanici și siguranța oferită de subsistemul de susținere a greutateii) la reducerea fricii de cădere și a fricii de mișcare, fenomene întâlnite frecvent la persoanele cu dizabilități de ambulație.

**Subsistemul de motoare electromecanice** asigură deplasarea asistată în spațiul tridimensional. Pentru desfășurarea unui antrenament destinat reabilitării mersului funcțional necesar ambulației la domiciliu și în comunitate este nevoie de asistarea susținerii parțiale a greutății persoanei, asistarea mișcărilor specifice mersului, asistarea/impulsionarea deplasării pe o direcție de mers, asistarea deplasării pe o traiectorie aleatorie, evitarea și depășirea de obstacole, asistarea întoarcerilor cu unghiuri variabile (între 0 și 360 de grade), urcarea și coborârea de trepte/rampe. Subsistemul de motoare a fost gândit să poată satisface aceste necesități și motoarele au fost alese să poată genera parametrii de deplasare necesari pentru realizarea unui antrenament funcțional personalizabil.

Sistemul nou creat realizează două acțiuni ce permit și ajută realizarea unor mișcări ale centurii pelviene cât mai apropiate de funcționalul normal, în cadrul unui spațiu definit. Cele două acțiuni sunt: limitarea excursiei laterale a bazinului în timpul ciclului de mers, cu menținerea excursiei centrului de greutate în limite similare cu cele din cazul mersului normal, și impulsionarea și asistarea mișcărilor de ridicare și coborâre la nivelul șoldurilor, pentru simularea unui mers fiziologic. Scopul acestui demers este acela de a împiedica fixarea unei scheme de mers anormale, și de a permite și orienta recrearea unei scheme de mers cât mai apropiate de cea fiziologică, prin imprimarea solicitărilor impuse asupra tuturor structurilor ce participă la realizarea deplasării segmentelor implicate în mers, în poziții și pe traiectorii controlate.

Cursa fiecărei mișcări va fi stabilită pentru fiecare subiect în parte, în funcție de parametrii antropometrici, de condiția patologică, de restantul funcțional și de obiectivele etapei și programului de reabilitare.

**Subsistemul de susținere a greutății.** Subsistemul este alcătuit din dispozitivul de fixare a hamului, cu cabluri reglabile ca lungime, în funcție de înălțimea pacientului, ham omologat reglabil, orteză pelvină reglabilă pasivă sau activă, coloană reglabilă de susținere pentru orteza pelvină, și un dispozitiv special pentru mișcarea alternativă verticală a șoldurilor.

Afecțiunile neurologice centrale determină, în afara deficitului motor și de coordonare la nivelul membrelor, hemicorpului etc, și fatigabilitate, slăbiciune musculară și reducerea stabilității posturale și a controlului asupra echilibrului. Controlul postural poate fi perturbat de activități interne (modificări ale metabolismului și activității cardiac și respiratorii) și în anumite condiții patologice musculo-scheletale și nervoase.

În activitatea clinică obișnuită, fizioterapeuții susțin parțial greutatea corpului persoanei pe durata antrenamentului, cu ajutorul barelor paralele, a cârjelor, diverselor dispozitive ortotice și, deseori, cu propriile lor forțe. Exercițiile de kinetoterapie devin astfel posibile pentru pacienții

care au un indice de ambulație cu valori de 1-3. Un dispozitiv ce permite suspendarea greutateii de deasupra capului persoanei are avantajul că descarcă simetric de greutate persoana (poate permite o descărcare controlată a greutateii) și permite menținerea aliniamentului trunchiului și membrelor. Sunt astfel posibile antrenamente de mers precoce după un accident vascular, fără un consum energetic ridicat din partea persoanei afectate.<sup>39</sup>

Subsistemul de suspendare a greutateii din cadrul sistemului RELIVE prezintă două puncte de ancorare către mecanismul de suspensie și posibilitatea de antrenare în mișcare, pe direcția verticală, alternativă a celor două puncte de ancorare, care se află în conexiune cu componenta pentru bazin a hamului.

Pentru o persoană cu pareză de hemicorp, propulsia inadecvată a membrului inferior în faza de prebalans, creșterea duratei fazei de prebalans, reducerea flexiei genunchiului sunt asociate cu strategiile compensatorii de ridicare a trunchiului și pelvisului și de circumducție și propulsie a membrului inferior în faza de balans. Acestea aduc costuri energetice ridicate pentru activitățile de mers la aceste persoane, și pattern alterat de mers. De asemenea, propulsia exagerată a membrului inferior nonparetic în prebalans, pentru scurtarea fazei de balans pe membrul respectiv, apare ca o strategie compensatorie pentru durata redusă a fazei de suport pe membrul inferior paretic. Acestea sunt asociate cu asimetria lungimii pasului și cu o lărgime a pasului crescută.<sup>40</sup> În aceste condiții, este posibil ca o intervenție de suspendare parțială a greutateii, asociată cu o dirijare a deplasării verticale a pelvisului sub controlul poziției hamului față de direcția de deplasare să corecteze parțial pattern-ul alterat de mișcare și să permită reantrenarea conform schemelor de mișcare fiziologice. La corecția mișcării va contribui și limitarea relativă a balansului lateral (cu accent spre hemicorpul indemn).

**Subsistemul de senzori de forță.** Acest subsistem este alcătuit din senzori și conexiuni cu subsistemul de comandă și control. Sistemul este dotat cu traductori de forță și limitatoare de cursă sensibile la presiune, la capetele de cursă pentru deplasarea pe toate direcțiile. De asemenea, subsistemul de susținere a greutateii este dotat cu traductori de forță ce permit descărcarea controlată de greutate, echilibrarea greutateii pe cele două jumătăți de corp – dreaptă și stângă, și menținerea controlului asupra nivelului de asistare pe toată durata ședinței de antrenament. Subsistemul de susținere a greutateii este dotat cu un limitator de suprasarcina, traductor de forta cu setarea limitei de incarcare maxima.

**Subsistemul de comandă și control a deplasării pacientului.** Componenta hardware a modelului experimental RELIVE constă într-un ansamblu format din elemente de masura și control senzori, traductoare și elemente de execuție (care se instalează pe structura mecanică adecvată) și din tabloul de comandă locală.

Partea Software se compune din sistemele de operare, mediile de dezvoltare și execuție în timp-real și din programele aplicative realizate/configurate de partenerul 4 – SIS al consorțiului RELIVE. Aplicația SCADA poate fi accesată de pe laptopul sistemului. Aceasta îndrumă operatorul în pașii necesari efectuării unui exercițiu, vizualizarea mărimilor măsurate pe parcursul derulării exercițiului pentru a putea evalua corectitudinea acestuia, precum și salvarea acestor informații într-un fișier specific pacientului pentru a putea fi consultat ulterior.

### **Ambulația în cadrul Modelului Experimental al Sistemului RELIVE**

Sistemul RELIVE, așa cum se prezintă în faza de model experimental, permite ambulația pacienților cu indice de ambulație (indicele Functional Ambulation Index – FAC) cu valori între 0 și 3.

Pentru persoanele cu indice  $FAC=0$  dar care prezintă control parțial asupra membrelor inferioare, Relive permite deplasarea persoanei verticalizate, în condiții de siguranță, în plan orizontal, pe toate direcțiile, cu susținerea greutății de până la 100%, în mod uniform pe toată durata deplasării. Deplasarea se va putea face în regim automat sau la comanda voluntară a pacientului.

Pentru persoanele cu indice  $FAC=1$ , sistemul de suspendare parțială a greutății permite deplasarea pacientului în condiții de siguranță și uniformitate în plan orizontal, cu crearea sentimentului de independență. Deplasarea se va putea face în regim automat sau la comanda voluntară a pacientului.

Pentru persoanele cu indice  $FAC=2$ , sistemul de suspendare parțială a greutății va avea mai mult funcție de corectare a posturii și traiectoriei, și va permite deplasarea pacientului în condiții de siguranță și uniformitate în plan orizontal și pe trepte/rampă, cu crearea sentimentului de independență. Deplasarea se va putea face în regim automat sau la comanda voluntară a pacientului.

Pentru persoanele cu indice  $FAC=3$ , sistemul va asigura postura și traiectoria corecte, reducând la 0 riscul de cădere, și va permite deplasarea pacientului în condiții de siguranță și uniformitate în plan orizontal și pe trepte/rampă, cu crearea sentimentului de independență. Deplasarea se va putea face la comanda voluntară a pacientului.

Reantrenarea mersului se va putea face astfel gradat, în funcție de capacitatea funcțională a persoanei, cu impunerea unor sarcini funcționale sau cu traseu liber ales, permițând etapizarea procesului de reabilitare:

1. Exerciții de transfer din poziția șezând în poziția ortostatică și invers.
2. Exerciții de posturare și echilibru în poziția ortostatică, în poziție fixă și în dinamică, cu diferite forme și dimensiuni ale bazei de susținere și diferiți parametri ai mersului (viteză,

lărgimea și lungimea pasului), cu diferite grade de descărcare de greutate și cu diferite grade de intervenție din partea mecanismului activ de control asupra mișcărilor centurii pelviene, cu asistare directă din partea unui kinetoterapeut.

3. Exerciții de execuție a elementelor pașilor de mers, cu asistare directă din partea kinetoterapeutului.
4. Exerciții de mers cu diferiți parametri (viteză, lărgimea și lungimea pasului, diferite abordări), cu coordonarea mișcărilor membrelor superioare, membrelor inferioare, trunchiului și văzului (exerciții de mers cu viteză inițial redusă, apoi din ce în ce mai mare, cu urmărirea și corectarea posturii, balansului lateral și vertical și mișcărilor specifice mersului).
5. Exerciții de schimbare a direcției de mers.
6. Exerciții de urcare/coborâre trepte/rampă.
7. Exerciții de mers și echilibru pe diferite substraturi, cu textură și fermitate diferite.
8. Exerciții de mers cu conștientizarea elementelor spațiului înconjurător similar celui natural. Exerciții de stimulare a atenției și cogniției, orientării spațiale și temporale.
9. Exerciții de adaptare-corectare prin stimularea reacției la situații de eroare simulată sau naturală augmentată.
10. Exerciții cu sarcini prestabilite – traseu, mod execuție, și cu sarcini liber alese.
11. Exerciții de mers simultan cu executarea unei sarcini funcționale pentru membrele superioare, a unei sarcini cognitive, a unei sarcini complexe, exerciții cu sarcini multiple de executat simultan, cu solicitări suplimentare în ce privește percepția, procesarea cognitivă, implicarea voluntară și aspectele decizionale, pentru reabilitarea capacității de ambulație independentă la domiciliu și în comunitate.

Exercițiile se vor alege și se vor grada în ce privește nivelul de solicitare psihică și efort fizic în funcție de restanțul funcțional al pacientului, de resursele energetice ale acestuia și de obiectivul etapei în curs a programului de reabilitare.

Spațiul terapeutic va prezenta pacientului o serie de provocări senzoriale și obstacole. În cadrul programului de antrenament personalizat, pacientul va îndeplini diferite sarcini în spațiul terapeutic, sarcini ce vor implica schimbarea direcției și vitezei de mers pe substrat cu diferite texturi, ocolirea și depășirea de obstacole, urcare/coborâre de pante/rampe/trepte și sarcini complexe, ce vor implica atenție distributivă și coordonare din ce în ce mai avansată, în funcție de nivelul funcțional al pacientului. Se va realiza astfel simultan antrenamentul posturii și al echilibrului static și dinamic, antrenament de creștere a forței musculare și a controlului și coordonării mișcărilor de mers. De asemenea, se vor simula condițiile de realizare a activităților vieții zilnice la domiciliu, ca și condițiile ambulației în comunitate, ce vor ajuta pacientul să recapete capacitatea de a-și administra spațiul personal și spațiul comunitar.

## 6. Studiu de utilizabilitate a Modelului Experimental RELIVE

Utilizabilitatea este strâns legată de nivelul obiectiv al eficienței și eficacității utilizării tehnologiei respective, ca și de nivelul subiectiv de satisfacție a utilizatorului (satisfacție privind ușurința învățării modului de operarea sistemului respectiv, accesibilitatea interfeței om – computer, procesul de muncă propriu-zis, și rezultatele acestuia privind reducerea nivelului deficitelor funcționale și a nivelului dizabilității ca urmare a utilizării sistemului – în cazul tehnologiei de reabilitare).<sup>41</sup> Este extrem de importantă atitudinea potențialului utilizator relativ la tehnologie în general și față de genul de tehnologiei respectiv, în special.

Comportamentul intențional cu privire la adoptarea unei noi tehnologii este afectat de șase elemente ce țin de credințele persoanei: seriozitatea furnizorului, compatibilitatea tehnologiei cu utilizatorul, dificultatea percepută în ce privește utilizarea, experiențele adaptative, valorile personale și beneficiile percepute a urma utilizării sistemului.<sup>42</sup>

În urma acestui studiu suntem interesați să obținem informații privind valoarea Modelului experimental RELIVE în ce privește ușurința în utilizare și atractivitatea sa pentru utilizatorii potențiali.

Obiectivele specifice ale acestui studiu sunt:

- Aprecierea calitativă a utilității percepute a sistemului, a ușurinței subiective și obiective în ce privește operarea sistemului în faza actuală de dezvoltare.
- Identificarea punctelor tari și a punctelor slabe ale modelului experimental, în vederea întăririi primelor și a soluționării celor din urmă, ca fază următoare în dezvoltarea sistemului.
- Evaluarea aspectelor de siguranță și confort în utilizarea sistemului, în vederea îmbunătățirii acestor aspecte.
- Obținerea de sugestii originale privind noi direcții de dezvoltare și utilizare pentru sistem.

Studiile privind tehnologia de reabilitare evaluează în principal eficacitatea clinică a utilizării instrumentelor de reabilitare, iar studiile privind tehnologia asistivă se concentrează pe aspectele privind satisfacția utilizatorului și calitatea vieții acestuia. Nu se pune niciodată accent pe utilizabilitatea obiectivă a acestor dispozitive/sisteme/tehnologii, deși unii autori consideră că feedback-ul utilizatorilor potențiali privind capacitățile sistemului și utilizabilitatea acestuia sunt esențiale chiar pentru dezvoltarea unei tehnologii de succes.

Figura nr. 2 prezintă un model original de acceptanță și utilizabilitate pentru tehnologia de reabilitare, dezvoltat pornind de la rezultatele unui studiu pe bază de interviu non-formal (pentru evitarea efectului Hawthorne)<sup>43</sup> asupra credințelor și așteptărilor specialiștilor în medicină de reabilitare și a pacienților clinicii de Recuperare Medicală a S.U.U.Elias, în conjuncție cu experiența din cercetările anterioare legate de tehnologia de reabilitare (TR) și satisfacția pacienților.<sup>44</sup>

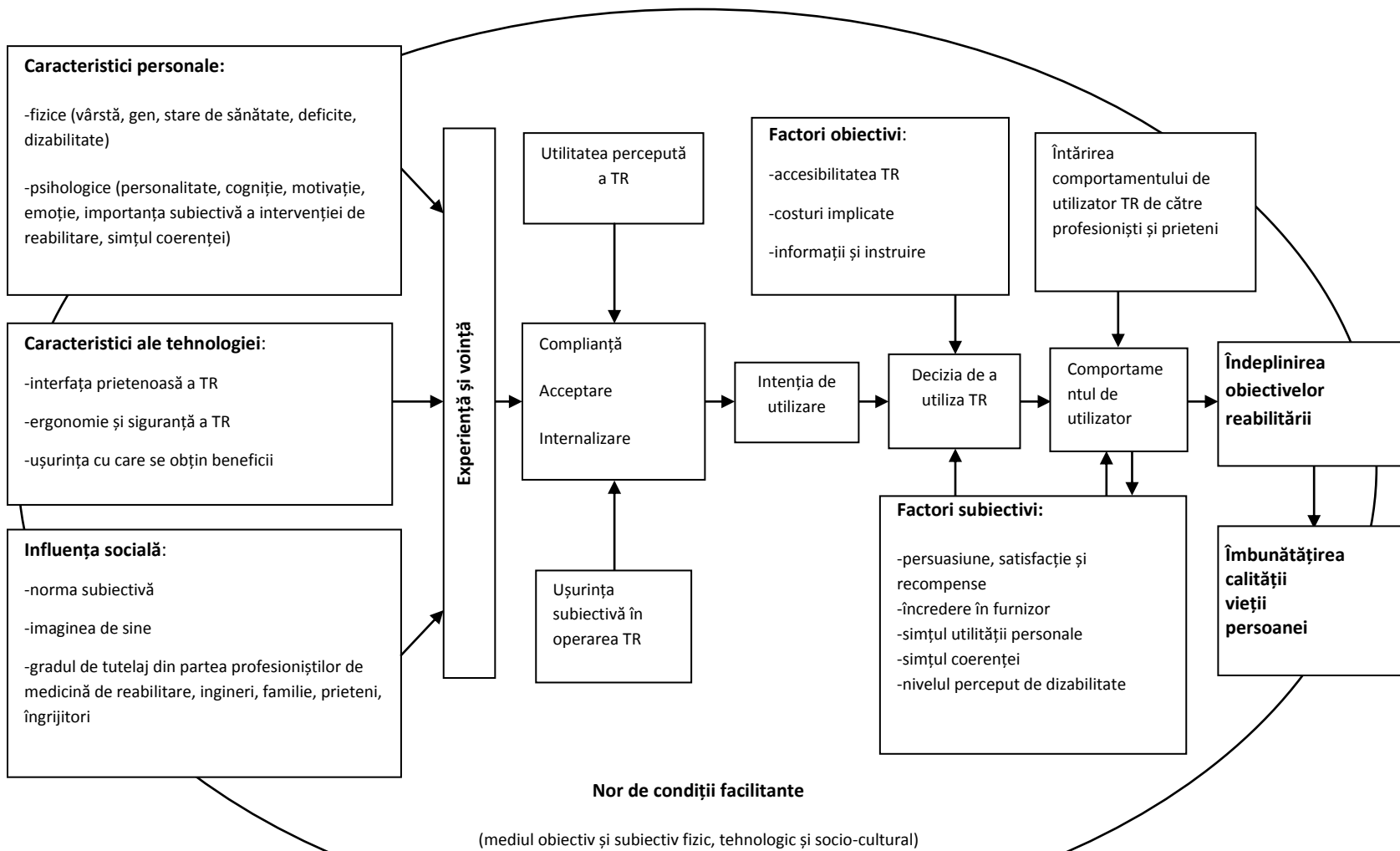


Figura nr. 2. Model centrat pe persoană al acceptanței și utilizabilității tehnologiei de reabilitare (AUTR)<sup>44</sup>



Modelul este construit pe schema modelului Unified Theory of Acceptance and Utilisability of Technology<sup>45</sup>. Procesul complex de acceptanță și utilizare a TR este secvențializat. De la complianța cu TR până la comportamentul de utilizator prou-zis, fiecare fază a procesului este supusă influențelor obiective și subiective, personale și de mediu.

Mediul nu este unul pasiv, ci un mediu activ de reacție, în care diferiți factori capătă rol de catalizatori, stimulatori sau inhibitori. Fiecare pas al procesului este însoțit de feedback către experiența personală, voință, trăsături personale, utilitate percepută și ușurința în operare și duce la modificări ale acestor aspecte. Astfel, procesul de integrare dinamică este ajutat, iar motivația și abilitatea în utilizarea TR a utilizatorului se îmbunătățesc.

Am putea adăuga la lista necesarului procesului de dezvoltare a tehnologiei de reabilitare cerințe de design emoțional și tehnologie afectivă: pozitivitate, recunoaștere, tipare și moduri de a construi personalitate dispozitivelor. Un grup focus constând în 12 specialiști în Medicină de Reabilitare, Fizioterapeuți, Ingineri mecatroniști și Psihologi clinicieni a analizat modelul și a ajuns la concluzia că el acoperă toate aspectele necesare evaluării complete a uzabilității tehnologiei de reabilitare.

Tehnologia de Reabilitare trebuie să constituie un instrument care împuternicește utilizatorul să realizeze ce simte că are nevoie să realizeze. Feedback-ul potențialului utilizator este esențial în crearea acestui tip de tehnologie. Modelul de uzabilitate creat este o structură dinamică ce poate fi adaptată pentru fiecare dispozitiv supus evaluării, ca și pentru nivelul specific de dizabilitate manifestat de persoana în cauză – utilizator potențial al tehnologiei de reabilitare.

În cadrul studiului de uzabilitate a fost evaluată interacțiunea utilizator – model experimental pentru două categorii de utilizatori: utilizatorul operator (medic, fizioterapeut) și utilizatorul beneficiar (pacient). Întrucât modelul experimental se află la prima testare cu subiecți umani, ca utilizatori beneficiari a fost incluse în studiu doar persoane fără dizabilități de locomoție, dar care prezentau la momentul respectiv, potențialul de a dezvolta dizabilități de ambulație, ca urmare a unei condiții medicale diagnosticate. Scorul „System Usability Scale” de 68,3 obținut în cadrul acestei sesiuni de testare indică o percepție pozitivă din partea potențialilor utilizatori și beneficiari, deci șanse mari ca, odată finalizat, sistemul să fie nu doar util, ci și utilizat, cu toate beneficiile aferente.

Studiul de uzabilitate ne-a permis crearea unui tablou al perspectivei pe care o au asupra modelului experimental RELIVE, în actualul stadiu de dezvoltare, specialiștii în medicină de recuperare, inginerii mecatroniști și informaticieni, ca și persoane cu potențial de beneficiari ai antrenamentului în cadrul sistemului RELIVE.

Studiul de uzabilitate a modelului experimental RELIVE a condus la creionarea ansamblului de elemente ale sistemului ce necesită îmbunătățiri și modificări, pentru ca sistemul

să corespundă așteptărilor posibililor beneficiari (operatori și persoane cu dizabilități de ambulație) și pentru a îmbunătăți percepția privitoare la ușurința în utilizare și utilitatea sistemului RELIVE. Studiul de utilizabilitate a ajutat la proiectarea direcțiilor viitoare de dezvoltare a sistemului RELIVE.

## **Noul sistem vine cu noi concepte:**

a. Conceptul „*sistemul urmează pacientul*”, formulat pentru prima oară de către Prof. Dr. Mihai Berteanu și Prof. Dr. Lucian Seiciu, pentru a exprima necesitatea implicării active a pacientului în alegerea și performarea traiectoriei și a parametrilor de mers în vederea îndeplinirii unei sarcini impuse sau liber alese, în timp ce elementele de susținere și corectare a posturii ce aparțin sistemului de antrenament se vor deplasa în concordanță cu parametrii impuși de deplasarea pacientului. Se completează cu ideea de mers pasiv (condus de sistem) versus mers activ (cu inițiere voluntară și parametri și traiectorie liber alese).

b. Conceptul „*antrenament al persoanei ca întreg*”, dezvoltat de către echipa participantă la proiectul RELIVE, exprimă necesitatea antrenării tuturor funcțiilor implicate în relația dintre persoana în cauză și mediul său fizic și social, profesional, familial, nu pe rând și în diferite etape ale programului terapeutic de reabilitare, utilizând diferite abordări și dispozitive, ci în același timp, toate dintr-o dată. Reprezintă o nouă abordare, holistică și integrativă, în medicina de reabilitare. Funcționalitatea corpului fizic nu poate fi îmbunătățită fără implicarea și stimularea tuturor domeniilor și funcțiilor cognitive, a aspectelor emoționale și voinței, în condițiile unui puternic simț al coerenței.<sup>46</sup> Acest tip de abordare este necesar pentru ca orice intervenție de medicină fizică și de reabilitare să ducă la câștigurile funcționale scontate și respect toate principiile de bază ale reabilitării moderne: centrarea pe persoană și comunitate, caracterul inclusiv, participator, holistic, și orientarea spre soluționarea problemei dizabilității.

c. Conceptul de „*spațiu terapeutic pentru reabilitare medicală*”. Noțiunea de spațiu terapeutic (ST) nu este nouă, dar conceptul capătă noi dimensiuni când se adresează domeniului reabilitării medicale. În reabilitarea medicală, subiectul este persoana cu dizabilități, care, ca rezultat al unui deficit funcțional, manifestă restricții în ce privește activitatea și capacitatea sa participativă în tot ceea ce înseamnă viața socio-profesională. Intervenția de reabilitare are ca ultim scop optimizarea funcționalității, creșterea nivelului de calitate a vieții acestei persoane. Pentru atingerea obiectivelor specifice unui program de reabilitare, echipa medicală de specialitate utilizează o sumă de mijloace tehnice, de ce nu și ... *[Arhi]terapie?* – terapia prin elementele de arhitectură (concept nou, introdus de Șef de Lucrări Dr. Arhitect Mihaela Grigorescu Zamfir (U.A.U.I.M. București)

Pentru a fi funcțional, ST trebuie să răspundă unor cerințe ce derivă din necesitățile deosebite ale utilizatorului/beneficiarului.

Luând în considerație aceste necesități, putem indica drept indicatori de performanță ai unui ST:

- Capacitatea de a induce, susține și stimula reabilitarea
- Asigurarea unui nivel cât mai înalt de siguranță
- Să fie cât mai accesibil și cât mai prietenos cu utilizatorul /beneficiarul
- Asigurarea unui nivel adecvat de asistență și de provocare
- Să necesite costuri reduse și să asigure beneficii maxime
- Să permită și să activeze o intervenție terapeutică centrată pe persoană
- Să dea forță proceselor de creare+susținere a relației terapeutice terapeut – pacient și permite+susține comunicarea terapeutică
- Să permită cuantificarea intervențiilor terapeutice și evaluarea funcțională pentru evaluarea nivelului de eficiență a intervențiilor
- Să prezinte adaptabilitate la restanțul funcțional al persoanei și la necesitățile specifice programului de reabilitare.

Această nouă abordare a procesului de reabilitare ne aduce cel puțin două avantaje: 1) progresul funcțional va avea un trend și o structură naturale, 2) costurile de timp legate de procesul de reabilitare vor fi substanțial reduse, datorită faptului că funcțiunile nu necesită timp adițional pentru a se ajusta una în funcție de alta, timpul consumat de obicei cu transferul câștigurilor funcționale de la un nivel la altul al programului de reabilitare și de la condițiile de laborator la cele din viața reală va fi mult redus, deoarece persoana se antrenează încă de la început într-un mediu versatil similar celui natural.<sup>47,48</sup>

### **Diseminarea rezultatelor**

Rezultatele tezei au făcut și vor face obiectul unor articole publicate, comunicări orale și postere prezentate în manifestări științifice naționale și internaționale. Până acum, au fost prezentate următoarele:

- 2 articole ISI (1 autor prim, 1 drept coautor).
- 1 articol BDI (coautor).
- 2 lucrări prezentate sub formă de comunicări orale la conferințe naționale.
- 3 postere prezentate la congrese naționale.
- 2 postere prezentate la congrese internaționale.

## Concluzii generale

1. În cadrul tezei a fost conceput raționamentul de construire al Modelului Experimental al Sistemului Mecatronic pentru Reabilitarea Ambientală a Mersului RELIVE. Modelul experimental reprezintă rezultatul activității intensive și extensive de documentare, de sinteză și de conceptualizare, în creuzetul unei echipe interdisciplinare complexe, în cadrul unui proiect național de cercetare-dezvoltare, finanțat prin UEFISCDI (P.N. II, contract nr. 190/2012). Unele elemente ale sistemului sunt acum în curs de brevetare.

2. Pentru evidențierea importanței, în termenii beneficiilor și cost-eficienței relative, a alegerii tipului de sistem de reabilitare a mersului, a fost dezvoltat un raționament decizional cu privire la tehnologia de reabilitare a mersului.

3. Proiectarea noului sistem de reabilitare a mersului a necesitat crearea unei viziuni holistice integrative asupra persoanelor cu dizabilități de ambulație de cauză neurologică și a necesităților de antrenament proprii acestor persoane, ca și crearea unei noi metode terapeutice – recuperarea ambientală.

4. Noul sistem de recuperare a mersului vine cu noi concepte: sistemul urmează pacientul versus pacientul urmează sistemul, antrenamentul persoanei ca întreg și spațiul terapeutic pentru reabilitarea medicală.

5. Modelul experimental al sistemului RELIVE este proiectat pentru a fi versatil și adaptabil, permițând numeroase posibilități de dezvoltare ulterioară.

6. În vederea evaluării utilizabilității modelului experimental al sistemului RELIVE actual, a fost dezvoltat un model centrat pe persoană al acceptanței și utilizabilității tehnologiei de reabilitare.

7. Rezultatele studiului de utilizabilitate indică un scor mediu pe scala System Usability Scale de 68,38. Sistemul va reprezenta pe viitor o reușită din punct de vedere al utilizabilității. Vor fi necesare studii de utilizabilitate care să includă persoane cu dizabilități de ambulație, în vederea aprecierii valențelor privind utilitatea percepută, satisfacția și eficiența terapeutică a sistemului dezvoltat, din perspectiva utilizatorului beneficiar, în vederea îmbunătățirii sistemului în chestiuni privind confortul și nivelul de siguranță, parametrii de lucru și posibilitățile viitoare de adaptare și de dezvoltare.

8. Cercetarea și dezvoltarea tehnologiei avansate de reabilitare necesită crearea unui fond de concepte și constructe transdisciplinare și conlucrarea strânsă a unor specialiști din toate domeniile implicate, în cadrul unei echipe multidisciplinare motivată și funcțională.

---

## BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- <sup>1</sup> W.H.O. The International Classification of Functioning, Disability and Health – ICF) [http://www.who.int/classifications/icf/icf\\_more/en/](http://www.who.int/classifications/icf/icf_more/en/)
- <sup>2</sup> Latham, N.K., et al., Physical therapy during stroke rehabilitation for people with different walking abilities. Arch Phys Med Rehabil, 2005. 86(12 Suppl 2): p. S41- S50.
- <sup>3</sup> Iliescu A et al. The effect of the ActiGait dropfoot implantable stimulator on the temporal and spatial parameters of gait. Posters and communications from the 17th ESPRM European Congress of Physical and Rehabilitation Medicine. Edizioni Minerva Medica 2010; 163-165
- <sup>4</sup> Iliescu A et al. Efectele stimulării electrice funcționale asupra parametrilor temporospațiali ai mersului și a scalelor clinice la pacienții hemiparetici. Ro J Phys Rehabil Med 2010; 20(2):50-51. Al 33-lea Congres Național de Recuperare Medicală
- <sup>5</sup> Fisher SV , Gullickson G Jr. Energy cost of ambulation in health and disability: a literature review. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation [1978, 59(3):124-133]
- <sup>6</sup> Perry J., Burnfield JM. Gait Analysis: Normal and Pathological Function. Second Edition (pp 9-18). 2010 SLACK Incorporated.2010. ISBN: 978-1-55642-766-4
- <sup>7</sup> Pedestrians’ Quality Needs, PQN Final Report, COST 358, COST Office 2010, [http://www.walkeurope.org/uploads/File/publications/PQN%20Final%20Report%20\[short\].pdf](http://www.walkeurope.org/uploads/File/publications/PQN%20Final%20Report%20[short].pdf), accesat pe 11.02.2016
- <sup>8</sup> Holden MK, Gill KM, Magliozzi MR, Nathan J, Piehl-Baker L. Clinical gait assessment in the neurologically impaired. Reliability and meaningfulness. Phys Ther 1984;64:35-40.
- <sup>9</sup> Heinemann A. Functional Ambulation Category. Rehabilitation Institute of Chicago, Center for Rehabilitation Outcomes Research, Rehabilitation Measures Database., online la: <http://www.rehabmeasures.org/Lists/RehabMeasures/DispForm.aspx?ID=920>, accesat pe data de: 4.03.2016
- <sup>10</sup> DeLisa J. A., Kerrigan C.K. Gait Analysis In The Science Of Rehabilitation, Monography, Ed. Dept. of Veterans’ Affairs, USA, 1998
- <sup>11</sup> Foulkes MA, Wolf PA et al. The Stroke data base: design, methods and baseline characteristics. Stroke 1998;19:547-554.

- 
- <sup>12</sup> Kelly-Hayes M, Wolf PA et al. Time course of functional recovery after stroke: the Fromingham Study. *J Neurol Rehabil* 1989;3:65-70.
- <sup>13</sup> Braddom R. et al. *Physical Medicine and Rehabilitation Fourth Edition 2011*, Chap.No C5-Gait analysis: Technology and clinical application, C30-Spasticity management, C50-Stroke Syndromes
- <sup>14</sup> Jorgensen HS, Nakayama H et al. Stroke Rehabilitation: Outcome and speed of recovery. Part II Speed of recovery: the Copenhagen Stroke Study. *Arch Phy Med Rehabil* 1995;76:406-412
- <sup>15</sup> WHO. *Neurological disorders: public health challenges.. 2006*. ISBN: 978 92 4 156336 9.
- <sup>16</sup> Nadeau, S. et al: Effects of Task-Specific and Impairment-Based Training Compared With Usual Care on Functional Walking Ability After Inpatient Stroke Rehabilitation: LEAPS Trial. *Neurorehab and neural repair*. Volume: 27, Issue: 4, Pages: 370-380, MAY 2013
- <sup>17</sup> Vijaya Kumar et al.: Effects of Mental Practice on Functional Mobility and Quality of Life in Ambulant Stroke Subjects. *IJSR*.Vol.: 2,Issue : 5,May 2013. Pages:434-437
- <sup>18</sup> Chutima Jalayondeja et al: Factors related to community participation by stroke victims six month post-stroke. *Southeast Asian J TropMed PublicHealth*. Vol 42 No. 4 July 2011, pages: 1005-1013
- <sup>19</sup> Eskes G, Salter K: Chapter 7: Mood and Cognition in Stroke. in Lindsay MP et al.(Eds):*Canadian Best Practice Recommendations for Stroke Care: 2013*; Ottawa, Canadian Stroke Network
- <sup>20</sup> Terroni L. et al.: Association among depression, cognitive impairment and executive dysfunction after stroke. *Dement Neuropsychol* 2012 September;6(3):152-157
- <sup>21</sup> Van Rijsbergen MWA et al. The COMPlaints After Stroke (COMPAS) study: protocol for a Dutch cohort study on poststroke subjective cognitive complaints. *BMJ Open* 2013;3:e003599.
- <sup>22</sup> Milinavičienė E. et al: Effectiveness of the Second-Stage Rehabilitation in Stroke Patients With Cognitive Impairment. *Medicina (Kaunas)* 2011;47(9):486-93
- <sup>23</sup> Lünenburger L. et al. Review.Biofeedback for robotic gait rehabilitation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* 2007, 4:1. <http://www.jneuroengrehab.com/content/4/1/1>
- <sup>24</sup> Ballard C, Stephens S, McLaren A, Wesnes K, Kenny RA, Burton E, O'Brien J, Kalaria R. Neuropsychological deficits in older stroke patients. *Ann N Y Acad Sci* 2002; 977:179-82
- <sup>25</sup> Leys D, Henon H, Mackowiak-Cordoliani MA, Pasquier F. Poststroke dementia. *Lancet Neurol* 2005; 4:752-759.

- 
- <sup>26</sup> Barba R, Martinez-Espinosa S, Rodriguez-Garcia E: Poststroke dementia: clinical features and risk factors. *Stroke* 2000; 31:1494-1501.
- <sup>27</sup> Claesson L, Linden T, Skoog I, Blomstrand C. Cognitive impairment after stroke – impact on activities of daily living and costs of care for elderly people. The Goteborg 70+ Stroke Study. *Cerebrovasc Dis* 2005; 19:102-109.
- <sup>28</sup> Kalaria RN, Ballard C. Stroke and cognition. *Curr Atheroscler Rep* 2001; 3(4):334-339
- <sup>29</sup> RoboReha Consortium. Leonardo da Vinci Programme Project no: 13310 0530. Robotics in Rehabilitation – State of the Art Analysis - Internal Working Document. 2014, online la: [http://www.adam-europe.eu/prj/11329/prd/1/1/analysis\\_V5.pdf](http://www.adam-europe.eu/prj/11329/prd/1/1/analysis_V5.pdf)
- <sup>30</sup> Berceanu M. et al. „Elements of Gait Kinematic Analyze in CAMONAL Project”. *Applied Mechanics and Materials* Vol 436 (2013) pp 247-254
- <sup>31</sup> Tefertiller C., Pharo B., Evans N., Winchester P. Efficacy of rehabilitation robotics for walking training in neurological disorders: A review. *JRRD*. Volume 48, Number 4, 2011. Pages 387–416.
- <sup>32</sup> Monaco V, Galardi G, Jung JH, Bagnato S, Boccagni C, Micera S: A new robotic platform for gait rehabilitation of bedridden stroke patients. *Rehabilitation Robotics*, 2009. ICORR 2009. IEEE International Conference on 2009, 383-388.
- <sup>33</sup> Bogataj U, Gros N, Kljajic M, Acimovic R, Malezic M: The rehabilitation of gait in patients with hemiplegia: a comparison between conventional therapy and multichannel functional electrical stimulation therapy. *Physical Therapy* 1995, 75:490-502.,
- <sup>34</sup> Teasell RW, Foley NC, Bhogal SK, Speechley MR: An evidence-based review of stroke rehabilitation. *Topics in stroke Rehabilitation* 2002, 10:29-58.)
- <sup>35</sup> Dobkin B., Duncan P. Should Body Weight–Supported Treadmill Training and Robotic-Assistive Steppers for Locomotor Training Trot Back to the Starting Gate? *Neurorehabilitation and Neural Repair* XX(X) 1–10  
<http://nrr.sagepub.com/content/early/2012/03/12/1545968312439687>
- <sup>36</sup> Iyyappan Manickavasagam, Poongundran Paranthaman, Jagatheesan Alagesan, Vandana J. Rathod. Mechanical gait training in neurological disorders: a review of evidences. *Int J Physiother Res* 2015, Vol 3(6):1326-35. ISSN 2321-1822
- <sup>37</sup> C.O.S.T. European Network on Robotics for NeuroRehabilitation, online la: <http://www.rehabilitationrobotics.eu>

- 
- <sup>38</sup> Advanced Rehabilitation Technologies (EU MSc), online la <http://www.rehabtech.soton.ac.uk>.
- <sup>39</sup> Visintin M et al. “A new approach to retraining gait in stroke patients through body weight support and treadmill stimulation”, *Stroke*, 1998
- <sup>40</sup> Chena G., Pattena C., Kotharia D., Zajac F. Gait differences between individuals with post-stroke hemiparesis and non-disabled controls at matched speeds. *gaitpost.2004*, 2022 1–6.
- <sup>41</sup> Holm I. *Ideas and Beliefs in Architecture and Industrial Design: How Attitudes, Orientations and Underlying Assumptions Shape The Built Environment* (Oslo School of Architecture and Design, 2006).
- <sup>42</sup> Kai-ming A.A., Enderwick P. A Cognitive Model on Attitude Towards Technology Adoption. *Journal of Managerial Psychology*, Vol. 15 Iss: 4, pp. 266 – 282, 2000.
- <sup>43</sup> McCarney R., Warner J., Iliffe S., van Haselen R, Griffin M., Fisher P., Warner I. The Hawthorne Effect: A Randomized, Controlled Trial, *BMC Med. Res. Methodol.*, 7: 30, (2007).
- <sup>44</sup> Kaleshtari M. H., Ciobanu I, Seiciu P. L., Marin A. G., Berteanu M. Towards a Model of Rehabilitation Technology Acceptance and Usability , *Int. J. Social Science and Humanity*, Vol. 6, No. 8, August 2016, ISSN: 2010-3646, pp. 612-616, 2016
- <sup>45</sup> Venkatesh V, Bala H. Technology Acceptance Model 3 and a Research Agenda on Intervention. *Decision Sciences*. Volume 39 Number 2, May 2008;39:273–315
- <sup>46</sup> Antonovsky, A. Sense of coherence. *Stress, coping, and health in families: Sense of coherence and resiliency 1* (1998): 1.
- <sup>47</sup> Ciobanu I., Marin A.G., Grigorescu Zamfir M., Berteanu M. Spațiul terapeutic în medicina de reabilitare. Conferința de Psihoarhitectura, UAUIM București, 28-29 noiembrie 2015.
- <sup>48</sup> RELIVE. Sistem mecatronic de realitate 3D pentru recuperarea ambientală a pacienților cu afecțiuni neurologice centrale, <http://www.omtr.pub.ro/cesit/granturi/RELIVE/index.html>