

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ "GHEORGHE ASACHI"
DIN IAȘI**



CONTRIBUȚII LA PROIECTAREA ȘI CONTROLUL UNOR SISTEME HIBRIDE MECATRONICE PENTRU RECUPERAREA MOTORIE A PACIENȚILOR CU PAREZĂ

-Rezumat-

Fiziokinetoterapeut specialist: Emanuel- Andrei PISERU

Președinte comisie doctorat:

Conducător de doctorat:

Referenți oficiali:

Prof. Univ. Dr. Ing. Dorin-Dumitru LUCACHE

Prof. Univ. Dr. Ing. Marian-Silviu POBORONIUC

Prof. Univ. Dr. Ing. Silviu-Dan MÂNDRU

Prof. Univ. Dr. Daniela Viorelia MATEI

Prof. Univ. Dr. Ing. Valeriu DAVID

IAȘI, 2024

UNIVERSITATEA TEHNICĂ "GHEORGHE ASACHI" DIN IAȘI
R E C T O R A T U L

Către

Vă facem cunoscut că, în ziua de **25.09.2024** la ora **10:00** în **Sala Hurmuzescu (IEEIA)***, va avea loc susținerea publică a tezei de doctorat intitulată:

**"CONTRIBUȚII LA PROIECTAREA ȘI CONTROLUL UNOR SISTEME HIBRIDE
MECATRONICE PENTRU RECUPERAREA MOTORIE A PACIENȚILOR CU PAREZĂ"**

elaborate de doamna / domnul **EMANUEL- ANDREI PISERU** în vederea conferirii titlului științific de doctor.

Comisia de doctorat este alcătuită din:

- | | |
|---|------------------------|
| 1. Prof. Univ. Dr. Ing. LUCACHE Dorin-Dumitru
Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași | Președinte |
| 2. Prof. Univ. Dr. Ing. POBORONIUC Marian-Silviu
Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași | Conducător de doctorat |
| 3. Prof. Univ. Dr. Ing. MÂNDRU Silviu-Dan
Universitatea Tehnică din Cluj- Napoca | Referent oficial |
| 4. Prof. Univ. Dr. MATEI Daniela Viorelia
Universitatea de Medicină și Farmacie "Grigore T. Popa" din Iași | Referent oficial |
| 5. Prof. Univ. Dr. Ing. DAVID
Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași | Referent oficial |

Cu această ocazie vă invităm să participați la susținerea publică a tezei de doctorat.

RECTOR,

.....

Secretar universitate,

.....

*pentru susținerile online se va preciza link-ul și soluția de software

Cuprins

Cuprins	3
1 Importanța temei și analiza pieței dispozitivelor medicale	4
2 Anatomia și Biomecanica mâinii	4
3 Tehnici și proceduri fizioterapeutice utilizate în dezvoltarea sistemelor	5
4 Stadiul actual în domeniu	5
5 Dispozitive originale propuse și realizate	6
5.1. Proiecte interdisciplinare	6
5.1.1. MANUTEX.....	6
5.2.1. Sistemul GFTSN	9
5.2. MESPA	16
5.2.1. Descrierea hardware.....	16
5.2.2. Descrierea software	19
5.2.3. Mecanica sistemului MESPA.....	20
5.2.4. Interfata cu utilizatorul (GUI).....	21
5.2.5. Analiza Mecanismului	27
6 Testarea clinică	29
6.1. Etapele validării sistemelor	30
6.2. Evaluarea clinică a sistemului MANUTEX.....	31
6.2.1. Evaluarea sistemului MANUTEX de către cadre medicale.....	31
6.2.2. Testarea sistemului MANUTEX pe pacienți	32
6.3. Testarea sistemului GFTSN în Spitalul clinic de recuperare din Iași.....	33
6.3.1. Evaluarea sistemului GFTSN de către cadre medicale.....	34
6.3.2. Testarea sistemului GFTSN pe pacienți	37
6.4. Implementarea și validarea clinică a sistemului MESPA pentru reducerea spasticității	39
6.4.1. Evaluarea sistemului MESPA de către cadre medicale	39
6.4.2. Testarea sistemului MESPA pe pacienți.....	40
6.4.3. Comparație detaliată între cele două loturi de pacienți.....	47
7 Concluzii generale	48
7.1. Contribuțiile la dezvoltarea sistemului MESPA.....	48
7.2. Contribuțiile la testarea clinică a sistemelor.....	49
7.2.1. Contribuțiile la testarea sistemelor MANUTEX și GFTSN.....	49
7.2.2. Contribuțiile la testarea sistemului MESPA	50
7.3. Valorificarea rezultatelor	50
7.4. Direcții viitoare de cercetare	52

1 Importanța temei și analiza pieței dispozitivelor medicale

Acest capitol oferă o introducere detaliată în problema accidentului vascular cerebral (AVC), subliniind importanța cercetării și dezvoltării de dispozitive medicale pentru tratarea și prevenirea afecțiunilor sistemului nervos central. AVC-ul este prezentat ca o problemă majoră de sănătate la nivel global, fiind a treia cauză principală de deces și dizabilitate. Documentul evidențiază factorii de risc pentru AVC, precum hipertensiunea arterială, alimentația nesănătoasă, fumatul și sedentarismul, și subliniază necesitatea unor strategii globale de prevenire și tratament.

Describe diferite tipuri de AVC - ischemice și hemoragice - și etapele de recuperare, de la faza acută la cea cronică, precum și importanța neuroplasticității în procesul de recuperare. Documentul pune accent pe impactul economic și social semnificativ al AVC-ului și necesitatea unor eforturi coordonate pentru reducerea acestuia, prin educație, conștientizare publică și acces la servicii medicale eficiente.

Totodată, în capitolul 1 aduc în discuție importanța cercetării și dezvoltării dispozitivelor medicale, subliniind că acestea sunt esențiale în tratarea și prevenirea afecțiunilor cronice, inclusiv a accidentului vascular cerebral (AVC). În special, este evidențiată creșterea pieței dispozitivelor medicale, impulsionată de inovarea continuă și de cererea crescută pentru dispozitive care să răspundă nevoilor emergente ale unei populații în îmbătrânire.

Sunt menționate dispozitive de reabilitare, cum ar fi stimulatoarele neinvazive și interfețele creier-computer, care ajută la îmbunătățirea funcțiilor motorii și cognitive la pacienții cu AVC. De asemenea, este subliniat faptul că aceste tehnologii, deși promițătoare, se confruntă cu provocări, inclusiv costuri ridicate, necesitatea personalului calificat și reglementări stricte.

Investițiile în cercetare și dezvoltare sunt cruciale pentru a continua să răspundă acestor provocări și pentru a dezvolta tehnologii mai accesibile și eficiente, contribuind astfel la reducerea impactului AVC asupra sănătății globale

2 Anatomia și Biomecanica mâinii

Capitolul 2 oferă o descriere detaliată a anatomiei și biomecanicii mâinii, evidențiind complexitatea acestei structuri esențiale. Mâna, compusă din 27 de oase organizate în trei categorii principale (carpiene, metacarpiene și falange), este susținută de o rețea de mușchi, ligamente, tendoane și nervi care permit o gamă variată de mișcări.

Capitolul discută diferențele dintre pielea dorsală și cea palmară, subliniind rolul acestuia în protecția structurilor interne și funcționarea tactilă. De asemenea, sunt detaliate grupurile musculare, alimentarea cu sânge prin arterele ulnară și radială, precum și inervația asigurată de nervii median, ulnar și radial.

Se evidențiază și structura fascială a mâinii, incluzând tecile sinoviale și ligamentele, subliniind importanța acestora în menținerea funcționalității mâinii și în tratamentul afecțiunilor. Capitolul pune accent pe necesitatea unei înțelegeri profunde a acestor structuri pentru diagnostic și tratament adecvat.

3 Tehnici și proceduri fizioterapeutice utilizate în dezvoltarea sistemelor

Capitolul 3 al tezei se concentrează pe tehnici și proceduri fizioterapeutice utilizate în dezvoltarea sistemelor, cu un accent deosebit pe reabilitarea mișcărilor și recuperarea funcțiilor motorii, în special în cazul pacienților care au suferit un accident vascular cerebral (AVC).

Capitolul explorează conceptul de neuroplasticitate, care este esențial în neuroreabilitare, subliniind capacitatea sistemului nervos central de a se reorganiza și adapta pentru a restabili funcțiile motorii pierdute. Mișcarea corpului este rezultatul unei interacțiuni complexe între sistemul nervos și cel muscular, iar procesul implică inițierea unui semnal nervos la nivelul creierului, transmiterea acestuia către mușchi prin măduva spinării și contracția musculară. O secțiune importantă este dedicată evaluării pacienților post-AVC, unde se subliniază impactul AVC-ului asupra funcției motorii și metodele de evaluare a spasticității și funcției motorii generale, utilizând scale precum Scala Ashworth modificată și Evaluarea Fugl-Meyer. Spasticitatea, o tulburare comună post-AVC, este abordată prin metode farmacologice și non-farmacologice, inclusiv terapia fizică, stimularea electrică funcțională și utilizarea unor dispozitive special concepute pentru reabilitare.

Capitolul descrie, de asemenea, dezvoltarea și utilizarea dispozitivelor medicale, cum ar fi cele pentru recuperarea mâinii, care sunt create cu un accent pe respectarea biomecanicii naturale și utilizarea tehnicilor validate în practica clinică. Aceste dispozitive au avut un impact pozitiv major în recuperarea pacienților, facilitând îmbunătățirea mobilității, forței și funcționalității mâinii.

Stimularea electrică funcțională (FES) este o altă metodă discutată în detaliu, fiind descrisă ca o intervenție care exploatează neuroplasticitatea pentru a restabili mișcarea voluntară după AVC. FES implică aplicarea de stimulare electrică pentru a provoca contracția mușchilor, facilitând astfel mișcările funcționale necesare în activitățile de zi cu zi.

În concluzie, Capitolul 3 oferă o imagine de ansamblu detaliată asupra tehnicilor și dispozitivelor utilizate în reabilitarea motorie post-AVC, subliniind importanța neuroplasticității și a tehnologiilor avansate în procesul de recuperare.

4 Stadiul actual în domeniu

Capitolul 4 prezintă o analiză detaliată a sistemelor mecatronice utilizate pentru reabilitarea mâinii, evidențiind progresele tehnologice recente și provocările din acest domeniu. Sunt discutate diverse tipuri de dispozitive, precum exoscheletele, sistemele robotice staționare și tehnologiile de realitate virtuală, fiecare cu aplicații specifice în reabilitarea funcțiilor mâinii.

Exoscheletele, cum ar fi MANUTEX și Exo-Glove Poly, sunt concepute pentru a sprijini sau asista mișcările naturale ale mâinii pacientului, fiind echipate cu actuatori și senzori pentru monitorizare și feedback în timp real. Dispozitivele robotice staționare, cum ar fi MIT Manus, sunt utilizate în centrele de reabilitare pentru a oferi suport în exerciții variate, iar tehnologiile de realitate virtuală, precum Gloreha, îmbunătățesc experiența reabilitării prin simulări interactive.

Capitolul subliniază, de asemenea, importanța inovațiilor recente, precum utilizarea senzorilor avansați și a tehnologiilor de feedback pentru a optimiza reabilitarea și inteligența artificială, care permite personalizarea tratamentelor în funcție de nevoile individuale ale pacienților. Totuși, sunt recunoscute și provocările majore, în special legate de costurile ridicate ale acestor tehnologii și de dificultățile de integrare a diferitelor dispozitive într-un sistem coerent și accesibil.

Un aspect important abordat este comparația între diverse mânuși robotice utilizate în reabilitare, cum ar fi RobHand, care oferă un exoschelet robust, dar greu, sau NOHAS, care, deși eficient, se confruntă cu provocări legate de complexitatea tehnologică și necesitatea de întreținere.

În concluzie, capitolul evidențiază diversitatea tehnologică și nevoia continuă de inovare pentru a îmbunătăți accesibilitatea și eficiența acestor sisteme mecatronice, esențiale în procesul de reabilitare a mâinii

5 Dispozitive originale propuse și realizate

În al 5-lea capitol descriu dezvoltarea și implementarea unor sisteme mecatronice inovatoare destinate reabilitării mâinii, cu focus pe pacienții care au suferit un accident vascular cerebral (AVC) sau alte afecțiuni neurologice. Am detaliat structura și funcționalitatea acestor sisteme, care combină elemente de mecanică, electronică, informatică și inginerie de control pentru a oferi soluții personalizate în procesul de recuperare.

Am prezentat principalele componente ale acestor sisteme, incluzând exoschelete și ortetice pentru suport fizic, actuatori care generează mișcarea necesară, senzori care oferă feedback în timp real despre progresul pacientului, și circuite de control ce asigură mișcări precise și sigure. De asemenea, am subliniat importanța algoritmilor de control și a interfețelor utilizator care permit configurarea și monitorizarea sesiunilor de reabilitare, utilizând tehnologii avansate precum realitatea virtuală și augmentată, și biofeedback-ul.

Am lucrat la mai multe proiecte interdisciplinare, dintre care cel mai notabil este MANUTEX, un dispozitiv pentru reabilitarea membrilor superioare. Acesta utilizează o mână mecatronică hibridă care replică mișcările mâinii sănătoase asupra celei afectate, stimulând astfel reorganizarea corticală și îmbunătățind controlul voluntar. În cadrul acestui proiect, am dezvoltat și GFTSN, un sistem destinat evaluării capacității pacienților de a-și controla forța de prindere și de ciupire, oferind feedback vizual pentru a ajuta pacienții în procesul de recuperare.

Făcând parte din această echipă, am putut învăța multe lucruri care, în final, au condus la crearea unui dispozitiv pentru reducerea spasticității - MESPA. Acest dispozitiv original este ideea subsemnatului, iar toate etapele, de la concepție până la testarea clinică, îmi aparțin în totalitate. MESPA este controlat prin Bluetooth, utilizând aplicații dezvoltate în LabVIEW și MIT App Inventor, oferind o interfață facilă și posibilitatea de a ajusta exercițiile în funcție de nevoile pacientului.

Testele efectuate pe aceste sisteme au demonstrat funcționalitatea și eficiența lor în reabilitarea medicală. Utilizarea combinată a sistemului mecatronic și a stimulării electrice funcționale s-a dovedit a fi un mod eficient de a îmbunătăți recuperarea pacienților, permițându-le acestora să își recâștige treptat controlul și mobilitatea mâinii afectate. Această cercetare și dezvoltare reprezintă un pas important în evoluția tehnologiilor medicale de reabilitare.

5.1. Proiecte interdisciplinare

5.1.1. MANUTEX

MANUTEX este un dispozitiv folosit pentru reabilitarea membrilor superioare care este adresată pacienților ce au suferit un handicap neuromuscular, ca și exemplu ar putea fi persoanele care au suferit un accident vascular cerebral (AVC).

Mișcarea mâinilor cu handicap neuromotor este efectuată cu ajutorul unei mănuși mecatronice hibride de tip exoschelet și adaptare pentru simulare electrică funcțională (FES) folosind electrozi care au fost încorporați într-o mănușă textilă.

Mănușa mecatronică a fost dezvoltată în jurul unei plăci de dezvoltare cu microcontroller (STM32), codul software optimizat preluând referința de pe mănușa cu senzori optici, plasată pe mâna sănătoasă a pacientului. Astfel pacienții efectuează mișcări simetrice cu ambele mâini, utilizând mâna sănătoasă pentru a ghida mișcările, în timp ce mănușa mecatronică replică aceste mișcări pe mâna afectată. Scopul acestui exercițiu este de a stimula reorganizarea corticală și de a îmbunătăți controlul voluntar al mâinii afectate.

Procesul de recuperare după un accident vascular cerebral implică utilizarea unor tehnologii avansate, cum ar fi mănușile mecatronice, de tipul MANUTEX, care oferă suport asistat în efectuarea mișcărilor. Acest dispozitiv facilitează exercițiile repetitive necesare pentru stimularea neuroplasticității, procesul prin care creierul își configurează circuitele neuronale pentru a recupera funcțiile pierdute. Un element important de originalitate este controlul balansat între aportul mișcării induse prin stimulare electrică a musculaturii, și suportul sistemului mecatronic (cabluri și servomotoare), în concordanță cu potențialul motric restant al utilizatorului.

5.1.1.1. Descrierea hardware

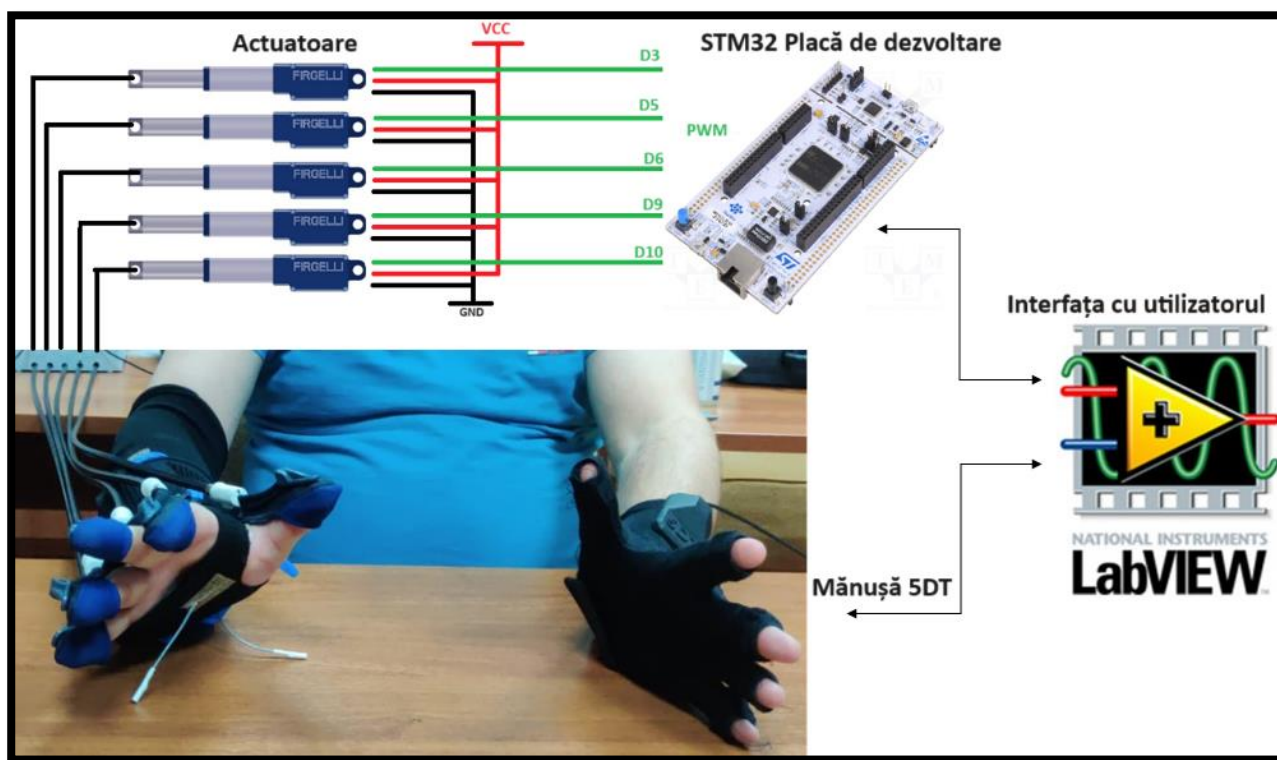


Figura 1 Schema bloc a sistemului cu mănușă mecatronică.

Elementul central pentru procesarea informațiilor și controlul elementelor de acționare, utilizat în implementarea modelului funcțional, este placa de dezvoltare STM32 Nucleo-F030R8. Toate funcțiile menționate mai sus sunt realizate cu ajutorul microcontrolerului ARM CORTEX-M0, care operează pe 64 de biți și oferă o performanță ridicată (48MHz), permițând procesarea informațiilor în timp real. Microcontrolerul dispune de multiple module periferice, inclusiv ADC-uri, timere și linii de comunicații USART și I2C. Aceste caracteristici permit dezvoltarea eficientă a

aplicațiilor software și a întregului sistem, conform standardelor și procedurilor pentru echipamente medicale, precum ISO13485.

Ca și elemente de acționare s-au utilizat 5 actuatori liniari de la Firgelli, model L12, montați în partea inferioară a cutiei cu echipamente (vezi Figura 1). Acest tip de actuatori au mai multe moduri de a putea fi controlați. Pentru această aplicație a fost folosit controlul PWM prin care se poate dicta direcția de acționare a actuatorului prin modificarea factorului de umplere a semnalului dreptunghiular de amplitudine 5V și frecvență 1kHz. Viteza redusă de efectuare a cursei motorului liniar este în concordanță cu dezideratul ca utilizatorul să aibă timp a gândi mișcarea (aport cognitiv) și să încerce participarea motorie la aceasta.

Pentru o monitorizare mai precisă a poziției degetelor, se folosește o mânășă produsă de compania 5DT. Aceasta este echipată cu un sistem de 5 senzori optici care oferă informații fiabile, și se asigură și un nivel înalt de confort.

O alta componentă importantă este dispozitivul MotionStim8, care efectuează stimularea electrică funcțională. Acest dispozitiv este folosit pentru tonifierea mușchilor și producerea mișcărilor funcționale în segmentele unde are loc contracția musculară. Este programabil și poate modula stimularea electrică în timp real.

Dispozitivul MANUTEX este alimentat de la o sursă de 12V în comutație, care asigură energia necesară atât actuatorilor liniare, cât și plăcii STM32. Această placă include un convertor coborât integrat, care reduce tensiunea de la 12V la 5V, necesară pentru funcționarea microcontrolerului ARM Cortex M0.

Mânășa textilă echipată cu electrozi integrați (vezi Figura 2) este un dispozitiv ortopedic, tip tricot circular destinat membrului superior, realizat pe o mașină de tricotat circulară cu diametru redus. Aceasta poate fi utilizată fie ca parte a sistemului MANUTEX, fie independent, în scopul reabilitării medicale a membrilor superioare. Cerințele principale ale mânășii textile cu electrozi integrați sunt următoarele:

1. Compatibilitate cu sistemele mecatronice tip mânăși, îndeplinind următoarele condiții: elasticitate, flexibilitate și adaptabilitate excelente la anatomia mâinii, compatibilitatea cu pielea, ușurință în a fi pusă și scoasă cu o singură mână, adecvată pentru utilizare independentă, electrozi din fibre care pot fi spălați și reutilizați de mai multe ori, având o durată de utilizare mai lungă și o întreținere mai ușoară decât electrozii din hidrogel.
2. O cerință esențială este ca electrozii care formează canalele de stimulare să fie poziționați corect pe piele, să poată fi mutați ușor prin ajustarea poziției structurii fibroase și să fie conectați rapid la un neurostimulator pentru a genera o stimulare adecvată.
3. Electrozii sunt cunoscuți ca și electrozi hibridi – uscați, fiind integrați în structura produsului prin țeserea unor fire din fibre conductoare. Aceștia asigură o presiune adecvată în zona de interes, între piele și electrod, și oferă un bun comportament elastic.
4. Este necesar să fie plasați mai mulți electrozi în poziții adecvate pentru a iniția acțiuni de recuperare (exerciții). De asemenea, a fost propusă o soluție pentru conectarea facilă a electrozilor la pinii cablurilor neurostimulatorului (teste efectuate cu neurostimulatorul pentru exerciții Microstim MS2v2, marcat CE, cu 2 canale de stimulare, și neurostimulatorul programabil MotionStim8 cu 8 canale de stimulare, dedicat cercetării).



Figura 2 Mănușa textilă cu electrozi integrați conectată la neurostimulator.

5.1.1.2. Descrierea software

În vederea testării inițiale a primului prototip funcțional al mănușii mecatronice, s-a utilizat un program care efectuează câțiva pași specifici în cadrul unui modul Arduino Uno. În continuare, sunt prezentate etapele executate de program:

1. **START:** Execuția codului programului este inițiată, în general, în momentul alimentării sistemului, sau la resetarea acestuia.
2. **SETUP:** Se inițializează variabilele și constantele pentru "cursa completă motor/ interval valori senzor" pentru fiecare pereche degete mână sănătoasă - degete mână afectată.
3. **CITIRE VALORI SENZORI:** Valorile senzorilor flexibili plasați pe mâna sănătoasă sunt citite prin intermediul convertorului analogic-digital (pinii A0, A1, A2, A3, A4).
4. **CONVERSIE MIȘCĂRI MOTOARE:** Pozițiile motoarelor, precum și valorile de comandă PWM sunt calculate în funcție de valorile obținute de la senzorii flexibili și de constantele de rezoluție "cursa completă motor / interval valori senzor" determinate în timpul etapei SETUP.
5. **LIMITARE POZIȚII MOTOARE:** Pentru a preveni suprasolicitarea motoarelor liniare atunci când se ajunge la pozițiile capăt de cursă, se aplică o limitare în cazul în care parametrii de comandă ai motoarelor depășesc aceste limite.
6. **TRIMITERE COMENZI MOTOARE:** Comenzile sunt transmise către motoarele liniare cu valorile calculate prin semnale PWM (pinii D3, D5, D6, D9, D10), pentru a re poziționa degetele mâinii afectate în concordanță cu poziția mâinii sănătoase.

După execuția funcției SETUP, ceilalți pași vor fi rulați continuu și ciclic de microcontroler, până la resetarea sistemului sau până la întreruperea alimentării dispozitivului.

Pentru versiunea finală a proiectului MANUTEX, s-a utilizat o placă STM32 Nucleo-F030R8, care suportă de asemenea un program extern cu funcții extinse de testare a codului dezvoltat, de tip ST-LINK (SWD).

5.2.1. Sistemul GFTSN

Atunci când un pacient se află în procesul de recuperare post-AVC, așteptările sale de revenire rapidă a funcționalităților normale ale mâinii sunt adesea nerealiste, deoarece procesul de recuperare

este în mod obișnuit lent. În domeniu există numeroase metode de evaluare a accidentelor vasculare cerebrale, cum ar fi: Scala Națională a Accidentelor Vasculare Cerebrale (SNC), Scala Glasgow a Comei (GCS), Scala Europeană a Accidentelor Vasculare Cerebrale, Scala de Echilibru Berg, Scala de Calitate a Vieții după Accident Vascular Cerebral (SS-QOL), Indexul Barthel și Măsura Independenței Funcționale (FIM). Aceste teste sunt efectuate la începutul și la sfârșitul perioadei de recuperare pentru a monitoriza progresul pacientului.

Pentru a oferi pacienților un dispozitiv care să îmbine evaluarea și reabilitarea post-AVC, s-a identificat necesitatea dezvoltării dispozitivului GFTSN (*Grip Force Tracking System*). Acesta ajută la evaluarea capacității pacienților de a măsura și monitoriza forța de prehensiune la nivelul mâinii și de ciupire (police-deget arătător) pe parcursul recuperării medicale.

Intrările în sistemul GFTSN sunt semnalele provenite de la două dispozitive echipate cu senzori pentru diverse tipuri de forțe fizice (prehensiune și ciupire). Pacientul aplică o forță de prindere sau de ciupire asupra dispozitivelor, ilustrate în Figura 3. Conform feedback-ului vizual oferit de interfața grafică pentru utilizator, acesta încearcă să urmărească o anumită formă de undă (de exemplu, sinusoidală) luată ca referință, prezentată pe ecran. De exemplu, prin modularea prehensiunii mâinii, acesta ridică (cazul creșterii forței)/coboară o bilă pe ecran, care tinde să urmărească forma de undă referință. Cele două semnale, cel măsurat (aplicat de pacient) și forma de undă de referință, apar pe ecranul interfeței. Scopul general este reducerea erorii dintre cele două semnale, ceea ce indică faptul că pacientul începe să redobândească controlul forței de prindere și de ciupire, după un accident vascular cerebral.



Figura 3 Dispozitive GFTSN cu senzorii de forță pentru ciupire în dreapta și pentru prindere în stânga (tip turn).

5.2.1.1.Descrierea hardware

Partea principală a sistemului conține cei doi senzori de măsurare a forței de prindere și a celei de ciupire, acești senzori fiind proiectați special pentru a deservi persoanele cu handicap neuromotor și pot să simuleze majoritatea activităților zilnice a pacienților la nivelul mâinii. Senzorul cilindric are capacitatea de a măsura forțe maxime de 300 Newtoni cu o precizie ridicată. Pentru măsurarea forței de ciupire a degetelor este folosit alt dispozitiv care poate măsura o forță maximă de 360 Newtoni cu o precizie de 0.1%. Acești senzori oferă un semnal de ieșire în tensiune proporțional cu

forța aplicată. Acest semnal este convertit de către sistemul cu microcontroller și este transmis cu ajutorul comunicației seriale către un computer, în programul LabView, care este folosit pentru a genera și interfața grafică cu utilizatorul.

Semnalele de ieșire de la senzorii de forță sunt amplificate pentru a fi cuprinse în intervalul de tensiune permis de citirea ADC a microcontrolerului ESP32-D0WDQ6 și anume 0V - 5V. Semnalele prelucrate sunt trimise către interfața cu utilizatorul cu ajutorul comunicației seriale, în primele faze de testare a acestui proiect s-a folosit comunicația cu Bluetooth, dar dat fiind că dispozitivul este mereu folosit în prezența unui calculator pentru a vedea și analiza datele grafice s-a renunțat la comunicația aceasta și a fost înlocuită de comunicația serială, alt beneficiu ar că dispozitivul este alimentat direct din cei 5V oferiți de calculator pe portul USB.

Pentru citirea semnalului analogic de la ieșirea senzorilor a fost folosit un convertor analog-digital (ADC) de precizie, de 24 de biți, conceput special pentru celule de forță folosite cu precădere în cântare. Acest modul are două canale de intrare, fiecare configurabil cu diferite rezoluții, canalul A poate citi cu o rezoluție de 128 biți pe când canalul B este fixat la 32 biți.

Nucleul plăcuței electronice este ESP32-Wroom-32 (vezi Figura 4), un modul MCU puternic cu capacități WI-FI, BT și BLE, destinat unei game largi de aplicații, de la rețele de senzori cu consum redus de energie până la sarcini complexe, cum ar fi codificarea vocii, streaming-ul de muzică și decodarea MP3. La baza acestui modul se află cipul ESP32-D0WDQ6, proiectat pentru a fi scalabil și adaptiv. ESP32 integrează o gamă largă de periferice, inclusiv senzori tactili capacitivi, senzori Hall, interfață pentru card SD, Ethernet, SPI de mare viteză, UART, I2S și I2C.

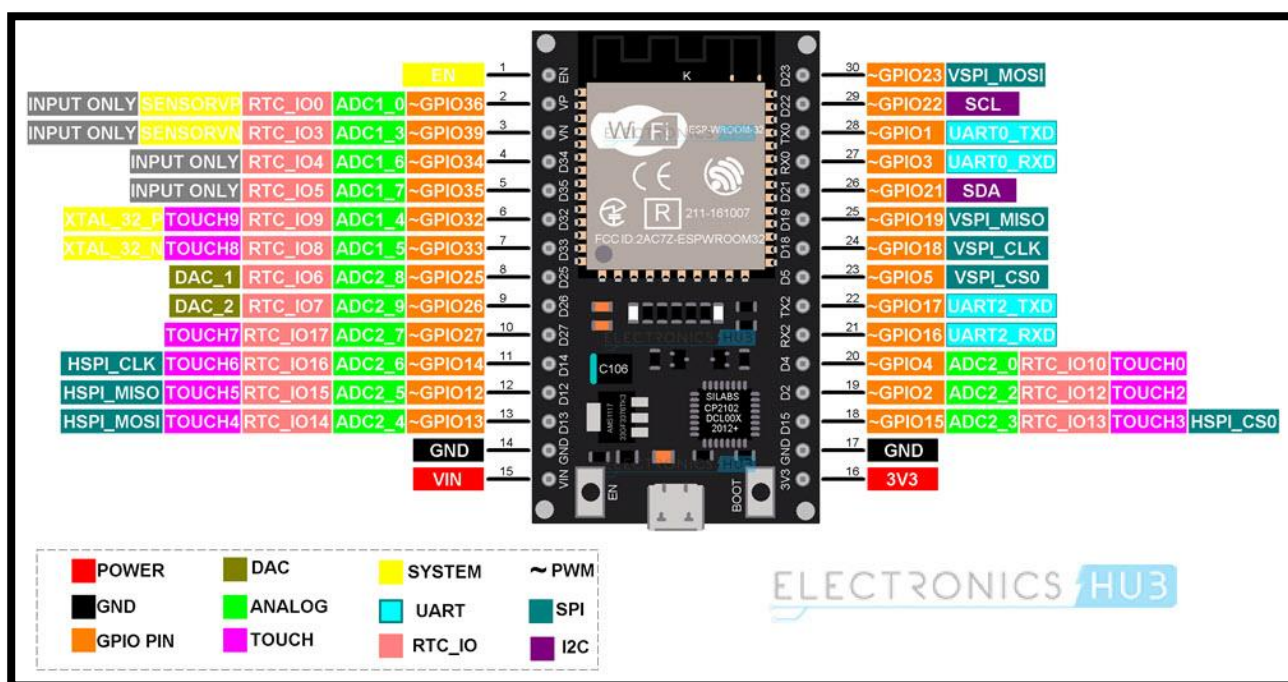


Figura 4 ESP32-WROOM32 asignarea pinilor.

Având în vedere că evaluarea utilizând GFTSN se realizează în fața unui monitor pe care interfața utilizatorului afișează cele două semnale, este necesară prezența constantă a unui computer lângă monitor. Din această cauză, conexiunea fără fir cu placa electronică nu este justificată. În consecință, și pentru a elimina necesitatea unui alimentator separat, s-a decis implementarea unui

transfer de informații serial prin intermediul portului USB, asigurând în același timp alimentarea plăcii electronice cu o tensiune de 5V generată de laptop/PC.

Următoarea componentă utilizează o tehnologie brevetată de Avia Semiconductor. HX711 (vezi Figura 5) este un convertor analog-digital (ADC) de precizie pe 24 de biți, conceput pentru celule de forță, fiind utilizat frecvent în cântare. Acest modul are două canale de intrare, însă rezoluția de citire a canalelor nu este egală. Pentru canalul A, rezoluția poate fi selectată la 128 biți sau 64 biți, în timp ce pentru canalul B, rezoluția de citire este fixată la 32 biți, o valoare semnificativ mai mică în comparație cu cea a canalului A.

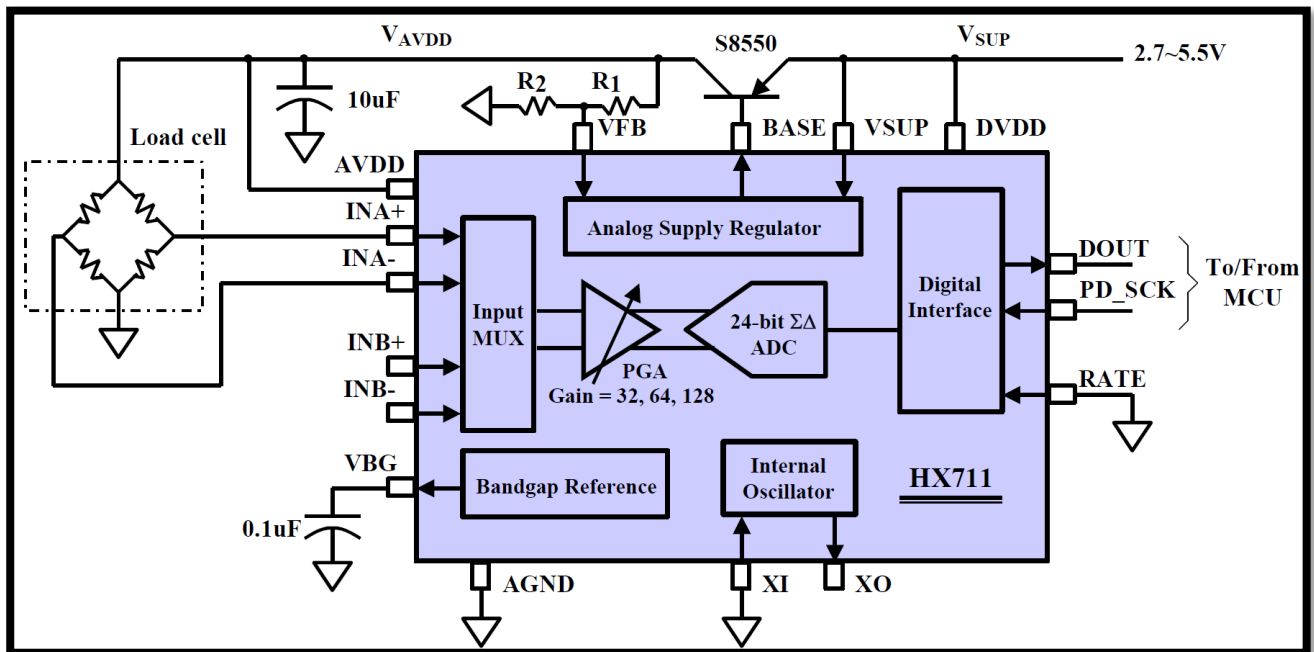


Figura 5 Schema bloc HX711.

Exemplu de calcul pentru citirea ADC cu ajutorul lui HX711. Dacă senzorul de forță oferă spre intrare ADC a lui HX711 un voltaj de 50mV, atunci valoarea raportată digital va fi:

$$\frac{\text{Rezoluția ADC}}{\text{Voltaj de referință}} = \frac{\text{Citirea ADC}}{\text{Voltaj măsurat}} \quad (5.1)$$

$$\frac{2^{24}}{3.3V} = \frac{\text{Citirea ADC}}{\text{Voltaj măsurat}} \quad (5.2)$$

Dacă intrarea ADC-ului citește un voltaj de 0.05V, atunci valoarea raportată în digital ar fi:

$$\frac{2^{24}}{3.3V} = \frac{x}{0.05V} \quad (5.3)$$

$$x = \frac{2^{24}}{3.3V} * 0.05V \quad (5.4)$$

$$x = 254,200.242 \quad (5.5)$$

Pentru măsurarea forțelor de prindere dar și cele de prehensiuni s-a ales o celulă de forță PW6C, produsă de către HBM. Această celulă de forță folosește o punte Wheatstone care măsoară o

rezistența necunoscută prin echilibrarea brațelor unui circuit în formă de diamant. Puntea Wheatstone este compusă din patru rezistențe aranjate în formă de diamant, un voltmetru/galvanometru și o sursă de tensiune. Acest circuit aduce avantaje deoarece este un sistem foarte precis, sensibil, versatil, fiabil și ușor de realizat reușind să măsoare variații foarte mici.

Puntea Wheatstone. Rezistența R_x reprezintă valoarea pe care vrem să o aflăm, celelalte rezistențe R_1 , R_2 , R_3 sunt rezistențe cunoscute, valoarea rezistenței R_2 poate fi ajustată în așa fel încât prin galvanometru să nu treacă nici un curent, diferența de potențial dintre punctele B și D fiind 0V.

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_x}{R_3} \quad (5.6)$$

$$R_x = \frac{R_2}{R_1} * R_3 \quad (5.7)$$

În cazul în care și rezistența R_2 este fixă atunci se poate folosi tensiunea dintre punctele B și D pentru a determina rezistența R_x .

$$V_G = \left(\frac{R_2}{R_2 + R_1} - \frac{R_x}{R_x + R_3} \right) * V_S \quad (5.8)$$

$$R_x = \frac{R_2 * V_S - (R_1 + R_2) * V_G}{R_1 * V_S - (R_1 + R_2) * V_G} * R_3 \quad (5.9)$$

5.2.1.2.Descrierea software

Programul pentru ESP32 a fost scris în compilatorul Arduino IDE.

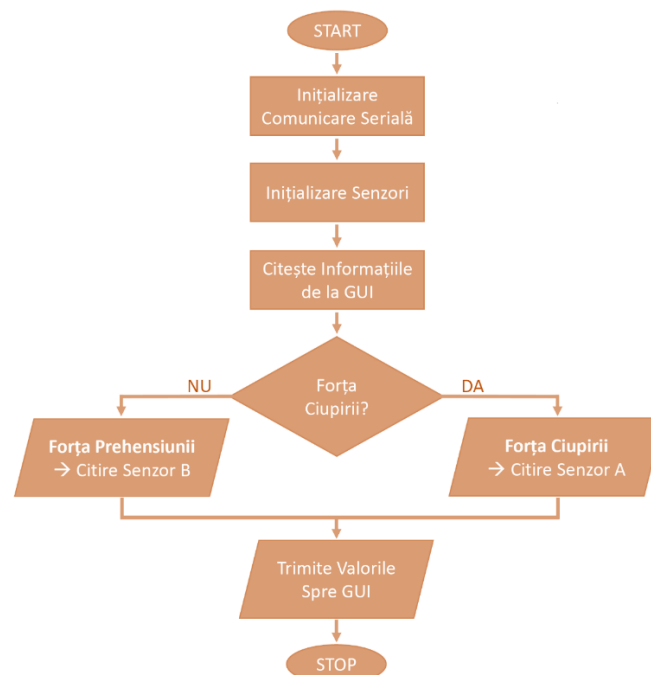


Figura 6 Structura programului scrisă în Arduino IDE.

Având în vedere că față de primul prototip al proiectului, care a fost făcut cu comunicație Bluetooth, varianta finală a fost concepută cu ajutorul comunicației seriale, au fost necesare unele schimbări la partea de interfațare cu utilizatorul din LabView.

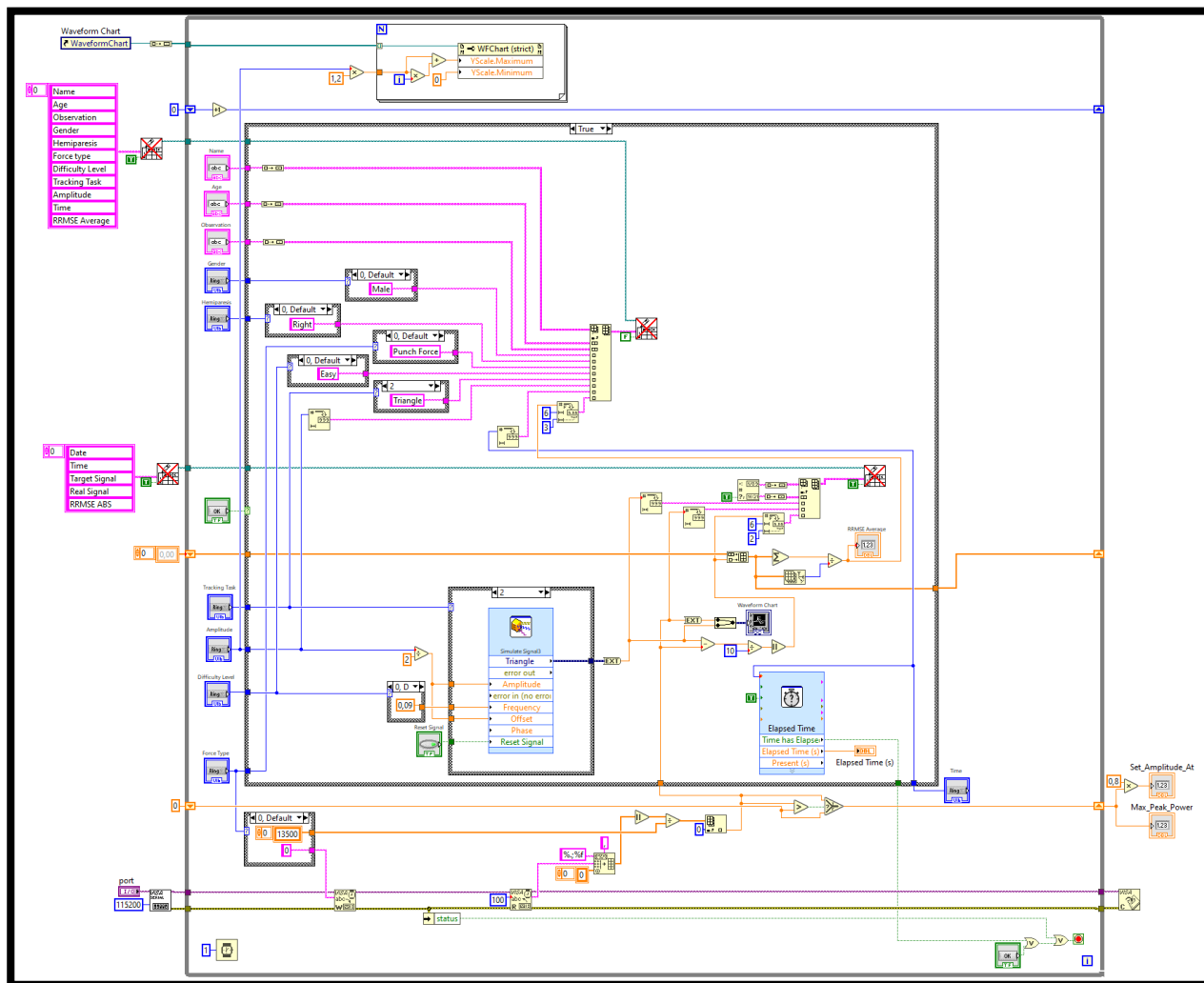


Figura 7 Interfața cu utilizatorul realizată în LabView- partea logică.

Interfața cu utilizatorul a proiectului GFTSN realizată în LabVIEW este structurată în 6 părți principale:

- 1) A: Partea de pornire/oprire;
- 2) B: Detalierea informațiilor pacientului;
- 3) C: Setarea parametrilor testului;
- 4) D: Informații în timpul testului;
- 5) E: Afișarea semnalelor;
- 6) F: Selecția portului de comunicare.

Această organizare permite utilizatorului să navigheze eficient și să gestioneze diverse aspecte ale testului de evaluare a forței de prindere și a celei de ciupire.

5.2.1.3. Testarea dispozitivului GFTSN

Versiunea finală a GFTSN-ului a fost supusă testelor din laborator pe o persoană sănătoasă pentru a observa evoluția erori de urmărire și pentru verificarea funcționalității dispozitivului.

În Figura 8, respectiv figura 9, se pot vedea interfețele grafice cu măsurătorile asupra unei persoane sănătoase. Parametrul de eroare dintre cele 2 semnale se poate vedea ca este de 1.60. Eroare se calculează la fiecare utilizare a dispozitivului și este salvată astfel încât să se poată vedea evoluția pacientului în urma mai multor testări. Formula folosită pentru calculul mediei relative a erorii pătratice (RRMSE), parametru de cuantificare, se poate vedea în formula 5.10.

$$RRMSE = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=2s}^{T=90s} \frac{(F_S(t) - F_T(t))^2}{\max(F_T)^2}} \quad (5.10)$$

$F_S(t)$ este semnalul măsurat de la senzorul de presiune, iar $F_T(t)$ este semnalul de referință pe care pacientul trebuie să îl urmărească pentru o anumită perioadă T .

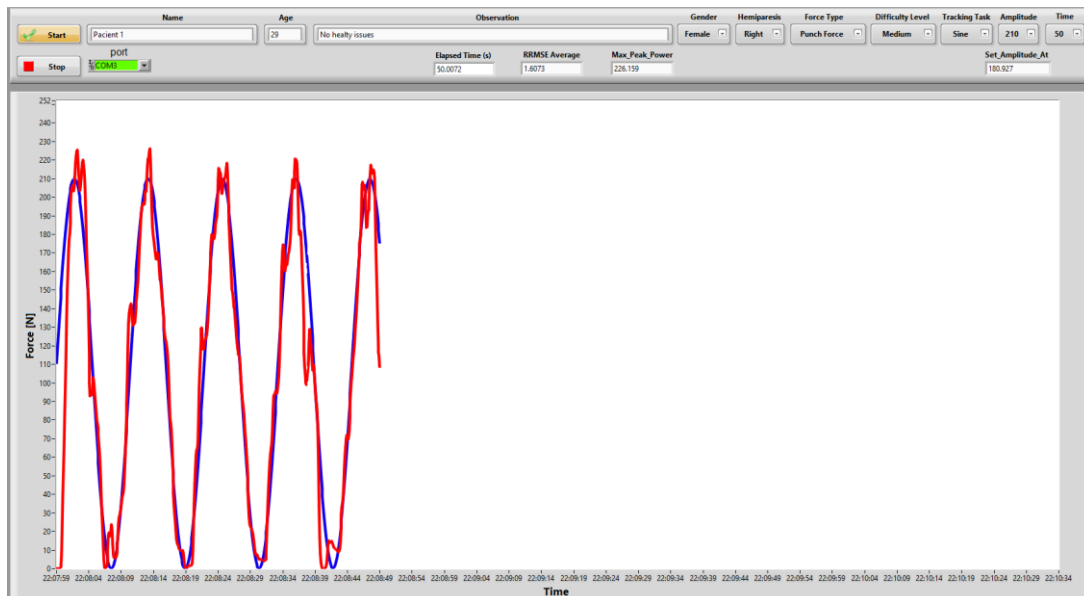


Figura 8 Test- formă de undă sinusoidală

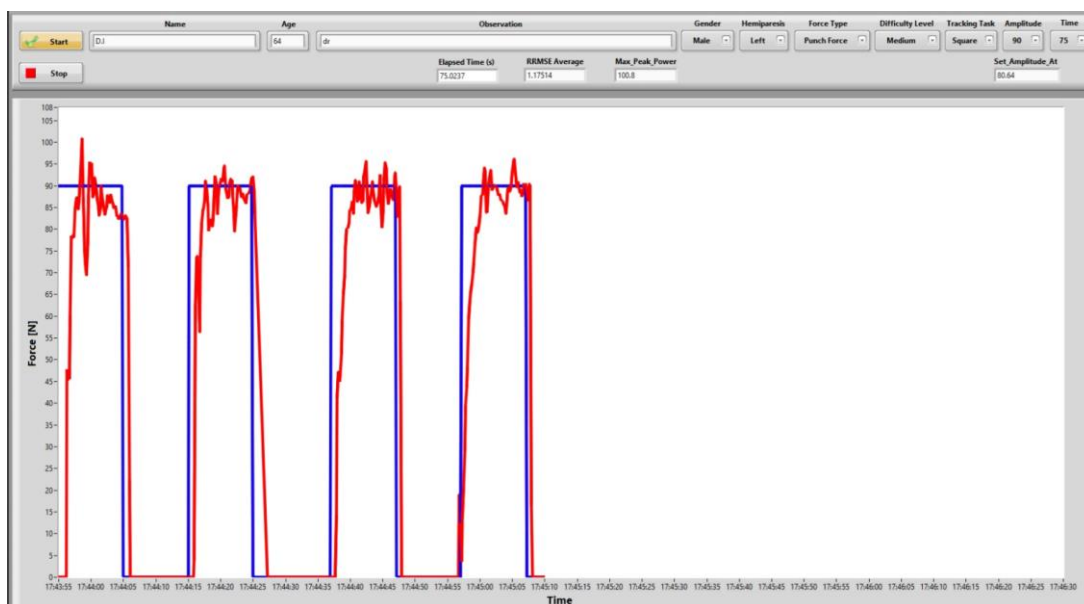


Figura 9 Test- formă de undă dreptunghiulară

Se poate observa semnalul albastru de referință, care trebuie urmărit de către pacient, și semnalul roșu de evoluție, generat voluntar de către pacient, în interfața grafică, în căsuța „RRMSE Average” aparând eroarea dintre cele două semnale.

În urma familiarizării pacientului cu aparatul și după efectuarea mai multor teste eroarea a scăzut semnificativ, și va fi un punct de comparație pentru întreg procesul de recuperare neuromotorie.

5.2. MESPA

MESPA (vezi Figura 10) este un dispozitiv care este alcătuit dintr-o orteză situată pe partea palmară a mâinii pentru a o susține în timpul terapiei, și cu o extensie în partea posterioară a antebrăului pentru o susținere mai bună a dispozitivului mobil. Între aceste doua părți ale ortezei, exista un motor liniar (actuator) și două piese proiectate și create cu ajutorul unei imprimante 3D care ajută la punerea sistemului în mișcare (sistem de pârghii). Pentru a executa comenzile a fost folosit un modul microcontroler ESP32, în care au fost descrise patru tipuri de programe de funcționare. Acest modul este integrat într-o cutie de plastic care mai conține deasemenea și partea de baterii care alimentează întreg sistemul.

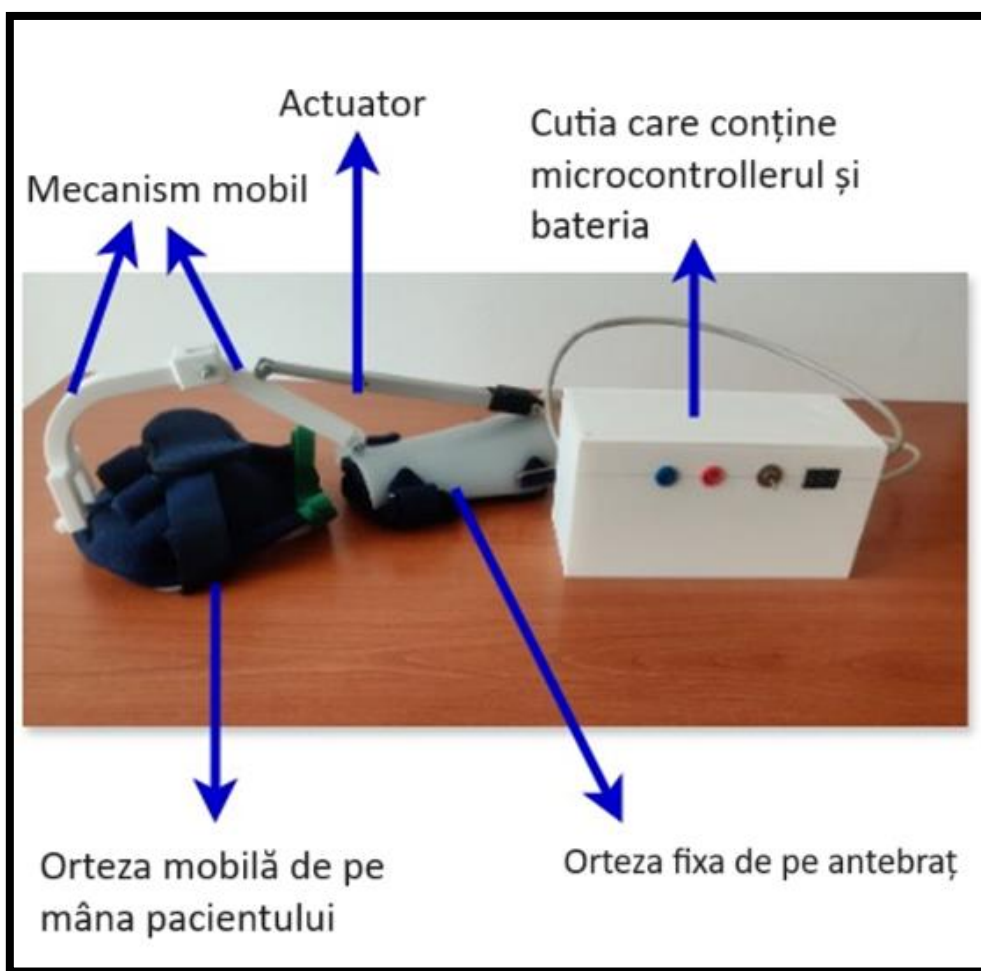


Figura 10 Dispozitivul MESPA

5.2.1. Descrierea hardware

Schema bloc, cu interconexiunile și componentele hardware ale dispozitivului MESPA, este descrisă în Figura 11.

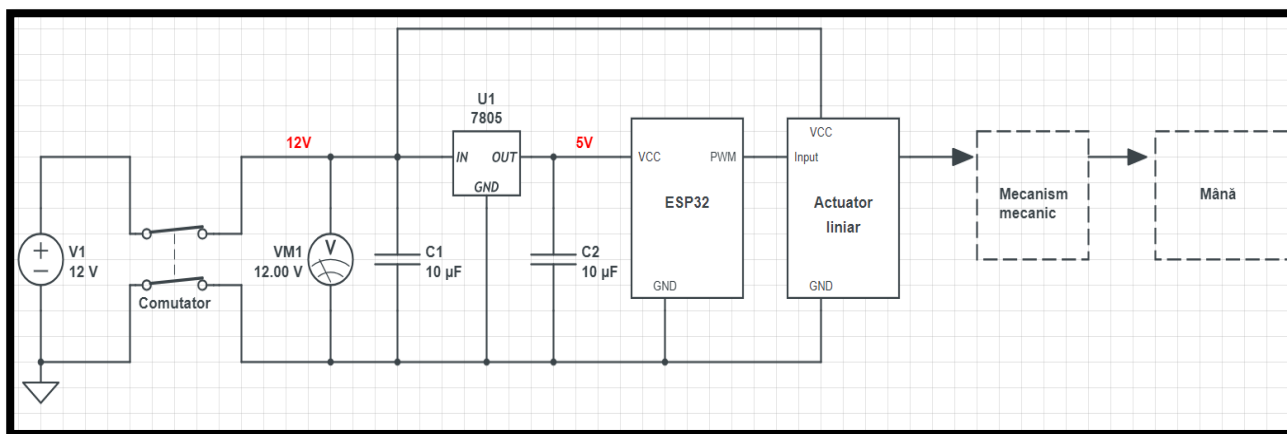


Figura 11 Schema bloc a dispozitivului MESPA.

Dispozitivul este alimentat cu ajutorul unei baterii LiPo Gens Ace Bashing 5000mAh de 12V, în schema bloc din Figura 11 putându-se vedea sursa de tensiune V1. Bateria este încărcată prin intermediul unei surse de tensiune externe prin 2 borne existente în cutia dispozitivului. Pentru manevrarea în siguranță a dispozitivului și a bateriei a fost introdus un comutator pentru a preveni descărcarea pasivă a bateriei din cauza curenților reziduali existenți în circuit, atunci când dispozitivul nu este folosit („Comutator” în Figura 11). Adicional, a fost adăugat un display cu voltmetru, care monitorizează tensiunea la bornele bateriei, atunci când comutatorul este acționat, pentru a avea un feedback în timp real pentru încărcarea bateriei (VM1 în Figura 11).

Deoarece tensiunea de alimentare a modului ESP32 este de 5V, conform fișei tehnice, iar bateria care alimentează întregul ansamblu are o tensiune nominală de 14.8V, în proiect a fost folosit un circuit stabilizator în 3 puncte LM7805 pentru a coborî tensiunea la 5V. LM7805 este un regulator de tensiune pozitivă de 5V cu 3 terminale. Acest regulator are ca și măsuri de protecție hardware: limitarea internă a curentului, protecție la supra-încălzire și zonă de operare în siguranță (SOA) care fac ace

➤ C1 (10 μ F) la intrare:

Condensatorul C1 este plasat la intrarea circuitului și are rolul de a decupla zgomotele și interferențele de frecvență înaltă, care pot proveni din sursa de semnal. Capacitorul C1 formează un filtru trece jos împreună cu impedanța de intrare a circuitului LM7805, permițând trecerea semnalelor utile de frecvență mai joasă și blocând frecvențele înalte nedorite.

➤ C2 (10 μ F) la ieșire:

Condensatorul C2 este plasat la ieșirea circuitului și are un rol similar cu C1, de a filtra zgomotele de frecvență înaltă care ar putea apărea în semnalul de ieșire. De asemenea, C2 ajută la stabilizarea tensiunii de ieșire, asigurând o operare corectă a circuitului, mai ales în condițiile de variație rapidă a sarcinii.

Ambele condensatoare ajută la menținerea integrității semnalului prin eliminarea componentelor de frecvență înaltă care pot cauza interferențe și zgomote în circuit, asigurând astfel o funcționare stabilă și normală a dispozitivului electronic.

Pentru a executa comenzile necesare acestui proiect a fost folosit un modul ESP32 WROOM 32. Acesta este un microcontroller puternic cu modul WI-Fi și Bluetooth integrat care vizează o largă

varietate de aplicații, variind de la rețele de senzori de putere redusă până la cele mai solicitante sarcini. Are un microprocesor cu 2 nuclee care pot fi controlate individual, iar frecvența de clock a microprocesorului este ajustabilă de la 80MHz până la 240MHz. Memoria generoasă de 520kB de SRAM permite manipularea eficientă a datelor, iar memoria flash de 4MB oferă spațiu suficient pentru stocarea programelor și datelor. Funcționalitatea Bluetooth v4.2 BR/EDR și Bluetooth Low Energy (BLE) permit conexiuni eficiente și sigure cu dispozitive mobile sau alte dispozitive compatibile Bluetooth. Funcționalitatea de intrare analogică cu un ADC de 12 biți și canale DAC oferă oportunități de captare și generare de semnale analogice. Legat de securitate, placa ESP32 dispune de un accelerator de criptografie care asigură protecția datelor sensibile, iar suportul pentru diversele protocoale de securitate WiFi și Bluetooth BLE adaugă un nivel suplimentar de siguranță în comunicații. Sistemul de operare ales pentru ESP32 este freeRTOS cu LwIP securizat prin comunicație OTA (Over The Air) care oferă și actualizare software fără ca pacientul să se mai prezinte la producătorul dispozitivului, așadar pacienții pot beneficia de actualizarea software a produsului chiar și după cumpărare la un cost minim și un efort scăzut.

Ca și elemente de acționare s-a utilizat un actuator liniar, model L12, fabricat de Actuonix. Actuatorul are rolul de a acționa mecanismul mobil al mâinii afectate a pacientului pentru a efectua mișcarea de la 0° la 90° a mâinii în funcție de programul accesat.

Actuonix introduce în acești actuatori cele mai bune caracteristici posibile realizând din fiecare actuator un sistem flexibil, configurabil, care integrează și o platformă compactă cu microcontroler.

În cadrul proiectului, selecția unui actuator liniar adecvat a fost esențială pentru asigurarea funcționalității și fiabilității sistemului dezvoltat. Actuatorul liniar Actuonix reprezintă o soluție versatilă și performantă, utilizată frecvent datorită specificațiilor sale tehnice remarcabile.

Actuatorul are un comutator de capăt de cursă care va opri alimentarea motorului atunci când actuatorul ajunge la o distanță de 0.5mm de sfârșitul cursei. Diodele interne care formează un redresor permit actuatorului să își schimbe poziția atunci când ajunge la capătul cursei. Limitele cursei actuatorului nu mai pot fi modificate odată ce el a fost produs. Cât timp tensiune este aplicată cu o anumită polaritate pe bornele motorului (pinii 1 și 2 de la conector) actuatorul se extinde. Atunci când polaritatea este inversată la bornele motorului, actuatorul se retrage.

Controlul actuatorului se poate face utilizând mai multe opțiuni:

- ➔ S (Limitare prin comutatoarele interne din actuator)
- ➔ P (Control prin feedback primit de la potențiometrul actuatorului)
- ➔ I (Controlul cu ajutorul plăcii de control interne actuatorului)
- ➔ R (Control prin RC Servo integrat în controllerul intern)

În acest proiect a fost folosită ultima metoda de control al actuatorului. Pentru aceasta au fost folosiți 3 pini din conector:

- ➔ 1 – Alb - Intrarea semnalului PWM.
- ➔ 2 – Roșu - Alimentarea
- ➔ 3 – Negru - Semnalul de masă

Actuatoarele care sunt controlate cu această metoda sunt înlocuitoare directe pentru obișnuitele controlere radio folosite de radio amatori. Poziția dorită a actuatorului este dată pe pinul

1 cu ajutorul unui puls de modulare de 5V. Un puls de comanda de perioadă de 1ms va face ca actuatorul să se retragă și pentru un puls de comanda de o perioadă de 2ms îl va face să se extindă.

5.2.2. Descrierea software

Aplicația de control a fost scrisă în Arduino IDE și implementată pe placa de dezvoltare ESP32-WROOM și oferă suport pentru patru tipuri de exerciții pentru reducerea spasticității post-AVC, descrise mai jos:

1. Flexarea și extensia mâinii cu unghiuri de 10 grade progresive, fără a menține până la atingerea punctului maxim. Acest exercițiu implică mutarea mâinii sus și jos (până la poziția neutră a mâinii) cu incrementări de 10 grade, fără a ține mâna într-o poziție fixă, până atunci când flexiunea maxim tolerată de pacient este atinsă.
2. Flexarea și extensia mâinii cu unghiuri de 10 grade progresive cu menținerea fiecărei poziții câte cinci secunde, până la atingerea punctului maxim. Similar primului exercițiu, dar introducând cele cinci secunde de pauză la fiecare 10 grade pentru a întinde musculatura mai bine și a adapta musculatura în poziția de întindere.
3. Flexarea completă a mâinii, se menține mâna flexată pentru un interval de timp introdus de terapeut (momentan setat implicit la 1 minut). Mâna este flexată la maxim și menținută în această poziție pentru un minut, pentru a asigura o flexie maximă.

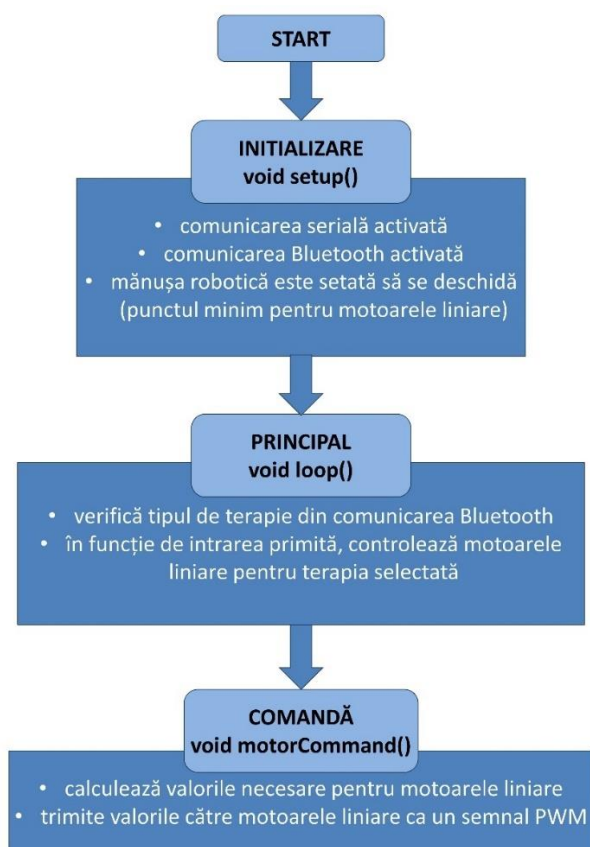


Figura 12 Diagrama logică a dispozitivului MESPA

➤ Biblioteci și Declarații:

- ✓ Biblioteca `BluetoothSerial.h` este inclusă pentru funcționalitatea Bluetooth.

- ✓ Directiva `#if` verifică dacă Bluetooth și Bluedroid sunt activate, altfel generează o eroare de compilare.
 - ✓ Se creează o instanță a `BluetoothSerial` denumită `SerialBT` pentru a gestiona comunicarea Bluetooth.
- Declarații de Variabile:
- ✓ Se definesc numărul pinului pentru actuatorul de mână (PIN 18) și diverse constante legate de pașii actuatorului și întârzierile.
 - ✓ Valorile maxime și minime pentru poziția actuatorului (`mot1Max` și `mot1Min`) sunt definite.
 - ✓ Variabile pentru parametrii terapiei, numărul de repetări și serii, precum și controlul actuatorului, sunt declarate.
- Descrierea funcțiilor:
- ✓ Funcția **`setup()`** inițializează comunicația serială la 115200 baud și pornește Bluetooth-ul cu numele "MESPA". Actuatorul este setat la poziția maximă (`mot1Max`) și se oferă o întârziere de 7 secunde pentru a se asigura că mâna se deschide complet.
 - ✓ Funcția **`motorCommand()`** calculează valoarea pentru actuator pe baza procentului de intrare (**`localHandValue`**) și trimite această valoare către actuator folosind PWM.
 - ✓ Funcția **`loop()`** verifică continuu pentru date disponibile Bluetooth. Când sunt primite date, acestea citesc tipul de terapie și setează valorile implicite pentru **`delaySeconds`** și **`seriesNumber`**.

5.2.3. Mecanica sistemului MESPA

Deoarece în interiorul laboratorului de robotică al Facultății de Inginerie Electrică, Energetică și Informatică Aplicată din Iași se află un 3D printer funcțional și materie primă disponibilă s-a decis proiectarea, prin intermediul programului FreeCAD a unor elemente necesare pentru dezvoltarea sistemului.

Pentru a facilita transportul ușor al sistemului și pentru a preveni deteriorarea acestuia, s-a decis ca majoritatea componentelor să fie incluse într-o cutie împărțită în două părți egale fiecare având câte un capac, dar cu posibilitatea de comunicare între ele.

Într-un compartiment al cutiei a fost amplasat acumulatorul împreună cu porturile de încărcare, întrerupătorul și voltmetrul, iar în celălalt compartiment placa ESP32.

Pentru a crea pârghiile necesare pentru obținerea unei extensii complete a mâinii, permițând astfel întinderea musculaturii flexoare a acesteia, s-a realizat un braț de angrenaj care facilitează comunicarea între orteza fixată pe mâna pacientului și motorul linear care acționează sistemul.

Acest braț este alcătuit din două elemente: primul element face legătura între orteza de pe antebraț și cel de-al doilea element, iar în treimea distală realizează conexiunea cu motorul linear; cel de-al doilea element este conectat la primul element printr-un șurub, iar la celălalt capăt se atașează de orteza mobilă situată pe fața palmară a mâinii. Acest ansamblu mecanic asigură mișcarea coordonată și precisă necesară pentru extensia completă a mâinii, facilitând astfel întinderea și relaxarea musculaturii flexoare, aspect esențial în procesul de recuperare și tratament al spasticității.

După ansamblarea acestor elemente, sistemul a fost testat pentru a verifica respectarea biomecanicii articulațiilor și pentru a identifica eventualele îmbunătățiri posibile. Rezultatele au fost favorabile, demonstrând conformitatea cu principiile biomecanice și eficiența în funcționare. Pe baza acestor rezultate pozitive, am concluzionat că aceasta va fi forma finală a brațului de angrenaj, asigurând astfel un dispozitiv robust și funcțional, capabil să îndeplinească cerințele terapeutice și să contribuie la ameliorarea spasticității la pacienți.

5.2.4. Interfata cu utilizatorul (GUI)

1. Interfațarea cu Bluetooth

Bluetooth este o tehnologie de comunicație wireless destinată să înlocuiască cablurile utilizate pentru a conecta diferite dispozitive electronice, cum ar fi telefonul mobil de dispozitivul MESPA. Tehnologia Bluetooth este un standard global datorită capacității sale de a permite comunicarea pe distanțe scurte, în general până la 100 de metri, folosind unde radio în bandă de frecvențe de 2.4GHz. ESP32 este un microcontroller care include suport pentru tehnologia Bluetooth Low Energy (BLE) cunoscut și sub denumirea de Bluetooth Smart, este o variantă a tehnologiei Bluetooth destinată să ofere o comunicare eficientă din punct de vedere energetic pentru aplicațiile care necesită transmisii de date intermitente și pe distanțe scurte. BLE este proiectat pentru a reduce consumul de energie, permițând dispozitivelor să funcționeze ani de zile cu o singură baterie. El folosește scurte perioade pentru a transmite și are moduri diferite atunci când transmite date pentru a economisi energia.

BLE folosește o arhitectură simplă, suportând atât conexiuni punct la punct (one to one) cât și conexiuni de difuzare (broadcast). Ceea ce ar fi benefic pentru un fizioterapeut care ar putea să lucreze cu mai mulți pacienți în același timp programând pentru mai multe persoane dispozitivul MESPA prin Broadcast.

2. Programul LabView pentru dispozitivul MESPA

A doua metodă de interfațare cu utilizatorul este cea cu calculatorul. Pentru a face acest lucru posibil, a fost necesară realizarea unei interfețe prietenoase pentru utilizator, care să ajute terapeutul să comunice cu dispozitivul MESPA. Aceasta permite setarea tipului de exercițiu și a timpului, precum și salvarea datelor pentru monitorizarea pacienților și pentru studiile viitoare pe un lot mai mare de pacienți, evidențiind astfel utilitatea dispozitivului MESPA în reducerea spasticității (vezi Figura 13).

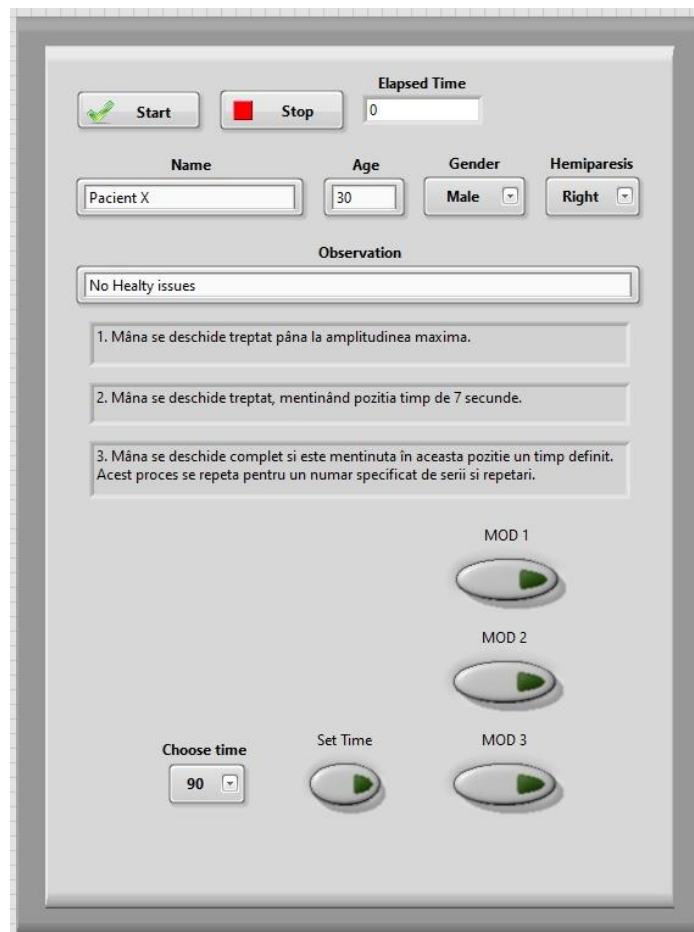


Figura 13 Interfața cu utilizatorul concepută în LabVIEW

Figura 14 reprezintă schema LabVIEW a programului complex destinat controlului aplicației MESPA pentru reducerea spasticității pacienților cu hemipareză. Programul utilizează diferite elemente de control și indicatori, pentru a gestiona și monitoriza mișcările unui membru afectat. Schema este împărțită în mai multe secțiuni funcționale, fiecare realizând o sarcină specifică în cadrul procesului terapeutic.

A. Descriere componentei frontale:

1. Controlere de intrare:

- ➔ **Name (Nume):** Utilizat pentru a introduce numele pacientului.
- ➔ **Age (Vârstă):** Permite introducerea vârstei pacientului.
- ➔ **Observation (Observație):** Un câmp text pentru a adăuga observații suplimentare.
- ➔ **Gender (Sex):** Selecție de gen cu opțiuni predefinite (de exemplu, Masculin/Feminin).
- ➔ **Hemiparesis (Hemipareză):** Un selector pentru partea corpului afectată (de exemplu, Stânga/Dreapta).
- ➔ **Task Type (Tipul Sarcinii):** Selectează tipul de exercițiu sau sarcină.
- ➔ **Amplitude (Amplitudine):** Setează amplitudinea mișcării.
- ➔ **Time (Timp):** Introduce timpul pentru exercițiu.

2. Structura buclă (While Loop):

- ➔ Aceasta este structura principală de control al fluxului, care continuă să ruleze până când condiția de oprire este îndeplinită.

3. Indicatori de stare și temporizatori:

- ➔ **Elapsed Time (Timp Trecut):** Indicator pentru a monitoriza timpul scurs pentru fiecare sesiune de exercițiu.
- ➔ **Set Time (Setează Timp):** Permite utilizatorului să seteze durata exercițiului.

4. Blocuri de decizie și condiții:

- ➔ Decizia pentru mișcarea mâinii: **Există trei condiții principale pentru mișcarea mâinii:**

1. **Mâna se deschide treptat până la amplitudinea maximă.**
2. **Mâna se deschide treptat, menținând poziția timp de 7 secunde.**
3. **Mâna se deschide complet și este menținută în această poziție un timp definit.**

*Aceleste condiții sunt verificate și implementate în funcție de selecțiile și setările utilizatorului.

5. Indicatori de conectivitate:

- ➔ Connection status (Starea conexiunii): **Indică starea conexiunii (de exemplu, Conexiune închisă, Conexiune abandonată, etc.).**

6. Blocuri de manipulare a datelor:

- ➔ **Data out (Date ieșire):** Blocuri pentru gestionarea și transmiterea datelor colectate din sesiunea de exercițiu.
- ➔ **Status (Stare):** Blocuri pentru monitorizarea stării generale a programului și feedback-ul pentru utilizator.

7. Indicator de eroare:

- ➔ **Error (Eroare):** Gestionarea erorilor și notificarea utilizatorului în cazul în care apare o problemă în timpul rulării programului.

B. Fluxul de proces:

1. **Inițializare:** Utilizatorul introduce datele pacientului și setările exercițiului prin controlerele de intrare.
2. **Executarea exercițiului:** Programul controlează mișcările mâinii pacientului conform condițiilor setate și monitorizează timpul scurs.
3. **Monitorizare și feedback:** Indicatorii de stare și temporizatorii oferă feedback continuu utilizatorului despre progresul exercițiului.
4. **Finalizare:** Programul finalizează exercițiul după ce timpul setat a expirat sau după ce condițiile de exercițiu au fost îndeplinite.

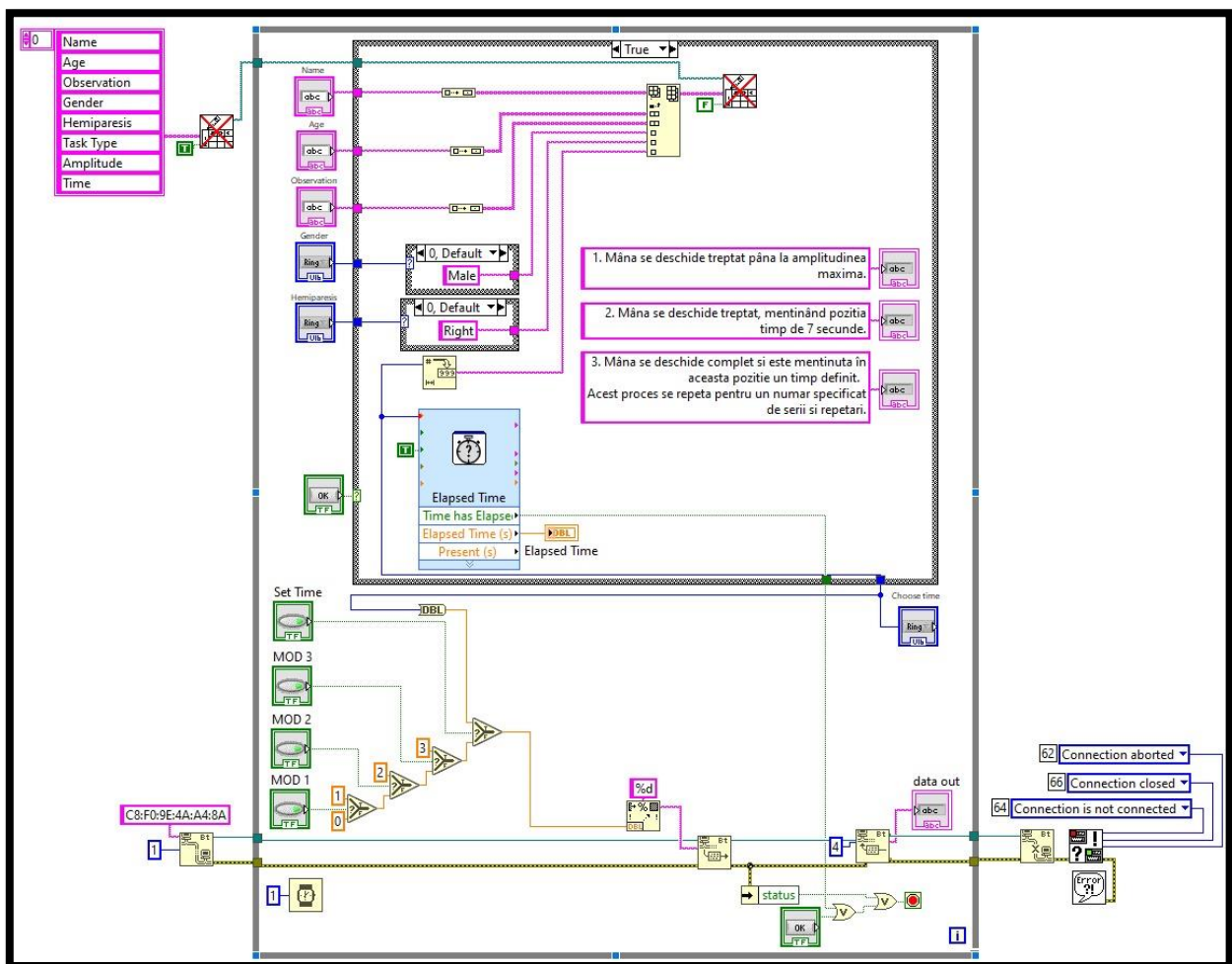


Figura 14 Corpul interfeței cu utilizatorul în LabVIEW

Această schemă LabVIEW este un exemplu sofisticat de utilizare a limbajului de programare grafică pentru a controla și monitoriza procesul terapeutic, demonstrând capacitatea de a integra diferite funcționalități pentru a crea o aplicație medicală eficientă și precisă.

3. MIT App Inventor

Pentru comoditate și o mai ușoară folosire a dispozitivului MESPA de către utilizator a fost creată o aplicație pentru telefoane cu ajutorul programului MIT App Inventor care este un limbaj de programare bazat pe blocuri vizuale, aplicația este deținută de Massachusetts Institute of Technology. Aplicația permite crearea aplicațiilor pe telefon cu sisteme de operare Android și iOS.

În Figura 15 se poate vedea interfața creată în aplicația MIT App Inventor. Aplicația se conectează prin Bluetooth cu ESP32, atunci când este conectată apare în primul chenar din interfața cu utilizatorul Connected și numele dispozitivului conectat.

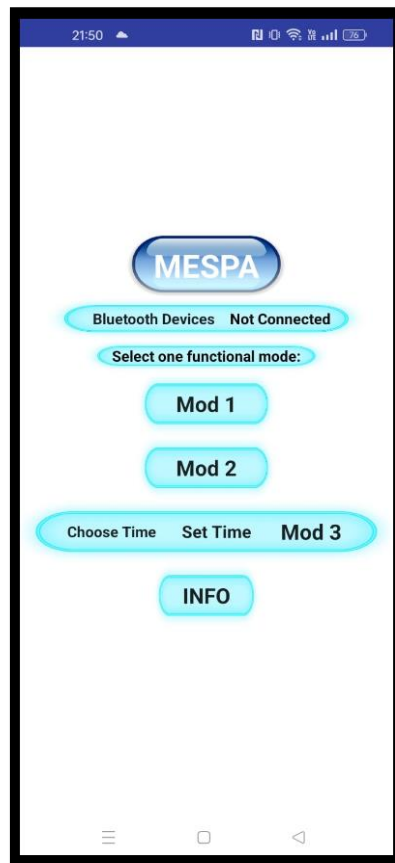


Figura 15 Interfața aplicației cu utilizatorul, pe telefon.

După ce telefonul a fost conectat se poate alege ce mod de folosire se dorește pentru dispozitivul MESP, dintre cele 3 existente. Aplicația este funcțională urmând să fie îmbunătățită ca să fie mai atrăgătoare ca si design, adăugându-se și o opțiune de istoric evoluție pacient, pentru a putea fi urmărită evoluția în timp a dispozitivului și a mobilității dobândite de pacient. Pe butonul INFO se regăsesc descrise cele 3 moduri de funcționare a dispozitivului.

Figura 16, ilustrează blocurile de programare din mediul vizual App Inventor, folosite pentru a crea o aplicație mobilă care controlează un dispozitiv prin intermediul Bluetooth. Această aplicație permite utilizatorului să se conecteze la un dispozitiv Bluetooth, să trimită comenzi specifice și să selecteze valori dintr-o listă predefinită, oferind astfel control asupra unui dispozitiv extern.

Blocurile de programare din imagine sunt organizate pentru a realiza următoarele funcționalități:

- ➔ Conectarea la Dispozitive Bluetooth: Utilizând "ListPicker1", utilizatorul poate selecta un dispozitiv Bluetooth dintr-o listă de dispozitive disponibile. Aplicația va afișa starea conexiunii (conectat sau neconectat).
- ➔ Trimiterea de Comenzi prin Bluetooth: Butoanele "Button1", "Button2" și "Button3" permit trimiterea de comenzi specifice (sub formă de texte) către dispozitivul conectat, utilizând "BluetoothClient1".
- ➔ Selecția de Valori Predefinite: "ListPicker2" oferă utilizatorului posibilitatea de a alege dintr-o listă de valori predefinite, care pot fi apoi trimise către dispozitivul Bluetooth prin intermediul "Button5".

- ➔ Navigarea între Ecrane: "Button4" permite deschiderea unui alt ecran în aplicație, numit "INFO", care poate conține informații suplimentare sau setări adiționale.

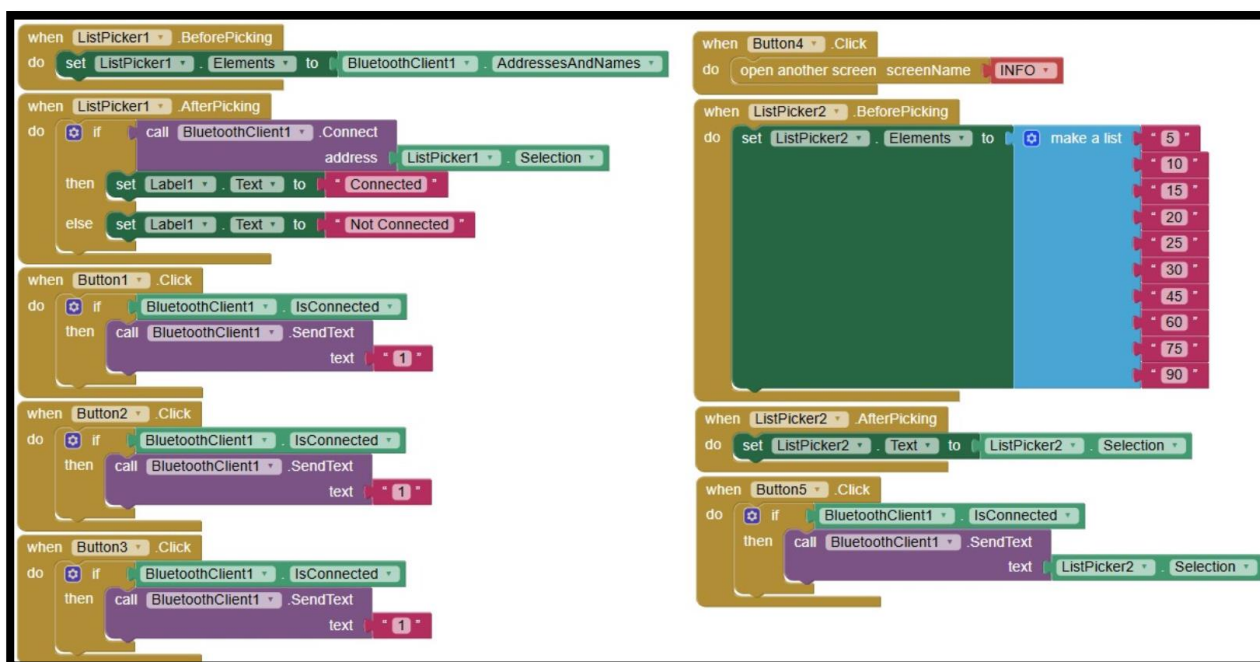


Figura 16 Blocuri de programare în mediu vizual pentru aplicația App Inventor.

Figura 16 prezintă blocuri de programare în mediu vizual pentru aplicația App Inventor, utilizată pentru a crea o aplicație care controlează dispozitivul MESPA prin Bluetooth. În continuare se face o descriere a funcționalității fiecărui bloc:

1. **Blocul "ListPicker1.BeforePicking":**

- ✓ Setează elementele din "ListPicker1" la adresele și numele dispozitivelor Bluetooth disponibile, obținute de la "BluetoothClient1".

2. **Blocul "ListPicker1.AfterPicking":**

- ✓ Dacă dispozitivul selectat este conectat, textul din "Label1" este setat la "Connected".
- ✓ Dacă dispozitivul selectat nu este conectat, textul din "Label1" este setat la "Not Connected".

3. **Blocul "Button1.Click":**

- ✓ Dacă "BluetoothClient1" este conectat, trimite textul "1" prin Bluetooth.

4. **Blocul "Button2.Click":**

- ✓ Dacă "BluetoothClient1" este conectat, trimite textul "2" prin Bluetooth.

5. **Blocul "Button3.Click":**

- ✓ Dacă "BluetoothClient1" este conectat, trimite textul "3" prin Bluetooth.

6. **Blocul "Button4.Click":**

- ✓ Deschide un alt ecran cu numele "INFO".

7. Blocul "ListPicker2.BeforePicking":

- ✓ Setează elementele din "ListPicker2" la o listă de valori predefinite (5, 10, 15, 20, 25, 30, 45, 60, 75, 90).

8. Blocul "ListPicker2.AfterPicking":

- ✓ Setează textul din "ListPicker2" la valoarea selectată.

9. Blocul "Button5.Click":

- ✓ Dacă "BluetoothClient1" este conectat, trimite textul selectat din "ListPicker2" prin Bluetooth.

Aceste blocuri de programare permit utilizatorului să se conecteze la MESPA, să trimită comenzi specifice și să deschidă un alt ecran informativ.

5.2.5. Analiza Mecanismului

În această analiză, ne propunem să investigăm comportamentul mecanic al sistemului MESPA cu cilindru oscilant utilizând un actuator utilizat și descris în subcapitolul 5.3 Vom determina pozițiile unghiurilor, vitezele unghiulare și accelerațiile unghiulare pentru a înțelege mai bine dinamica mecanismului.

Parametrii actuatorului sunt următorii:

- **Forța de Backdrive:** 45 N
- **Lungimea în poziție închisă (Hole to Hole):** 152 mm
- **Raportul de Viteză:** 210:1
- **Viteza fără sarcină:** 3,2 mm/s
- **Cursa Actuatorului:** 100 mm
- **Tensiune de Funcționare:** 12 V
- **Greutate:** 56 g

1) Calculul Valorilor Unghiurilor

Pozițiile unghiulare sunt determinate folosind relațiile de calcul pentru unghiurile ϕ_1 și ϕ_3 :

$$\phi_1 = \cos^{-1}\left(\frac{l_{21}^2 + l_4^2 - l_3^2}{2 * l_{21} * l_4}\right) \quad (5.11)$$

$$\phi_3 = \cos^{-1}\left(\frac{l_3^2 + l_4^2 - l_{21}^2}{2 * l_3 * l_4}\right) \quad (5.12)$$

Unde:

- l_3 = este lungimea brațului (252 mm);
- l_{21} = este lungimea cursei actuatorului (100 mm);
- l_4 = este lungimea actuatorului (252 mm inițial și 152 mm final).

Calculul unghiurilor inițiale și finale:

- Poziția inițială $l_4 = 252mm$

$$\phi_1 = \cos^{-1} \left(\frac{100^2 + 252^2 - 252^2}{2 * 100 * 252} \right) = 78.56^0 \quad (5.13)$$

$$\phi_3 = \cos^{-1} \left(\frac{252^2 + 252^2 - 100^2}{2 * 252 * 252} \right) = 22.89^0 \quad (5.14)$$

- Poziția finală $l_4 = 152mm$

$$\phi_1 = \cos^{-1} \left(\frac{100^2 + 152^2 - 252^2}{2 * 100 * 152} \right) = 180.0^0 \quad (5.15)$$

$$\phi_3 = \cos^{-1} \left(\frac{252^2 + 152^2 - 100^2}{2 * 252 * 152} \right) = 0.0^0 \quad (5.16)$$

2) Calculul Vitezelor Unghiulare

Viteza unghiulară (ω) este determinată pe baza vitezei de deplasare a actuatorului și a variației unghiurilor în timp:

$$\omega = \frac{d\phi}{dt} = \frac{d\phi}{dl_{21}} * v_{21} \quad (5.17)$$

Unde v_{21} este viteza actuatorului (3.2 mm/s). Timp necesar pentru a parcurge întreaga cursă este:

$$Timp \text{ necear} = \frac{Lungimea \text{ cursei}}{Viteza} = \frac{100 \text{ mm}}{3.2 \text{ mm/s}} = 31.25 \text{ s} \quad (5.18)$$

Calculul vitezelor unghiulare:

$$\omega_1 = \frac{\phi_1^{final} - \phi_1^{inițial}}{Timp \text{ necesar}} = \frac{180.0^0 - 78.56^0}{31.25 \text{ s}} = 3.246 \text{ rad/s} \quad (5.19)$$

$$\omega_3 = \frac{\phi_3^{final} - \phi_3^{inițial}}{Timp \text{ necesar}} = \frac{0.0^0 - 22.89^0}{31.25 \text{ s}} = -0.732 \text{ rad/s} \quad (5.20)$$

3) Calculul Accelerațiilor Unghiulare

Accelerația unghiulară (ε) este determinată pe baza vitezelor unghiulare și a timpului de variație:

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{\omega}{Timp \text{ necesar}} \quad (5.21)$$

Calculul accelerațiilor unghiulare:

$$\varepsilon_1 = \frac{3.246 \text{ rad/s}}{31.25 \text{ s}} = 0.104 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \quad (5.22)$$

$$\varepsilon_3 = \frac{-0.732 \text{ rad/s}}{31.25 \text{ s}} = -0.023 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \quad (5.23)$$

4) Interpretarea Rezultatelor

Rezultatele indică faptul că:

- Unghiul ϕ_1 crește semnificativ de la 78.56° la 180° în timpul cursei actuatorului, indicând o rotație aproape completă.
- Unghiul ϕ_3 scade de la 22.89° la 0° , indicând o mișcare de oscilație.
- Vitezele unghiulare ω_1 și ω_3 reflectă schimbarea rapidă a unghiurilor în timpul cursei, iar valorile lor sugerează o mișcare accelerată.
- Accelerațiile unghiulare ε_1 și ε_3 sunt relativ mici, ceea ce indică o variație graduală a vitezei unghiulare.

Aceste calcule și interpretări ne oferă o imagine clară asupra comportamentului dinamic al mecanismului cu cilindru oscilant, demonstrând schimbările de poziție, viteză și accelerație pe parcursul funcționării actuatorului.

6 Testarea clinică

În capitolul 6, am descris în detaliu procesul de testare clinică a sistemelor inovatoare MANUTEX, GFTSN și MESPA, destinate reabilitării pacienților cu afecțiuni neurologice, în special cei care au suferit un accident vascular cerebral (AVC). Aceste sisteme au fost dezvoltate și testate în cadrul unui parteneriat între Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași și Spitalul Clinic de Recuperare din Iași, în cadrul unui grant specific.

Testarea clinică a inclus două faze majore: evaluarea inițială de către cadrele medicale și testarea ulterioară pe pacienți. În prima fază, sistemele au fost prezentate echipelor medicale din secțiile de Recuperare Clinică Neurologie și Recuperare Clinică Neuromotorie, care au testat funcționalitatea și interfața acestor dispozitive. Feedback-ul a fost extrem de pozitiv, indicând siguranța și eficacitatea ridicată a acestor sisteme.

Sistemul MANUTEX a fost evaluat atât de cadre medicale, cât și de pacienți. Acesta combină stimularea electrică funcțională cu mobilizarea pasivă printr-un exoschelet mecatronic, fiind considerat eficient și confortabil. Testele au arătat îmbunătățiri semnificative în recuperarea motorie a pacienților, reflectate prin creșteri ale scorurilor pe Scala Fugl-Meyer.

Sistemul GFTSN (Grip Force Tracking System) a fost creat pentru a evalua și îmbunătăți forța de prindere a pacienților. Acesta a fost apreciat pentru precizia și eficiența sa, oferind un feedback detaliat care permite personalizarea exercițiilor de reabilitare. Testele clinice au arătat că utilizarea sistemului contribuie semnificativ la creșterea forței de prindere, un factor esențial în recuperarea pacienților post-AVC.

Sistemul MESPA a fost testat în două faze, fiind evaluat de cadre medicale și ulterior pe pacienți. Acesta utilizează exerciții de mobilizare și stretching pentru a reduce spasticitatea musculară. Rezultatele testelor au arătat o reducere semnificativă a spasticității, menținerea acestei îmbunătățiri fiind observată și după externare.

Testarea pe pacienți a fost realizată în condiții controlate, cu criterii stricte de includere și excludere. Rezultatele obținute au arătat îmbunătățiri clare în ceea ce privește funcționalitatea

membrele superioare și reducerea spasticității. Comparativ cu terapia clasică, utilizarea sistemelor dezvoltate, în special a sistemului MESPA, a demonstrat o eficiență sporită și o menținere mai bună a rezultatelor pe termen lung.

În concluzie, capitolul evidențiază succesul implementării acestor sisteme inovatoare în practica clinică, subliniind potențialul lor de a îmbunătăți semnificativ procesul de reabilitare a pacienților cu afecțiuni neurologice.

6.1. Etapele validării sistemelor

A. Faza Inițială: Evaluarea de către Cadrele Medicale

1. În prima etapă, sistemele dezvoltate au fost prezentate echipelor medicale din cele două secții vizate, Recuperare Clinică Neurologie și Recuperare Clinică Neuromotorie. Publicul țintă a inclus medici și fizioterapeuți cu experiență în recuperarea pacienților cu afecțiuni neurologice.
2. Cadrele medicale au testat funcționarea sistemelor și interfața cu utilizatorul. Ulterior, au evaluat performanțele dispozitivelor în ceea ce privește siguranța și eficacitatea acestora, completând chestionare structurate, majoritatea cu răspunsuri închise și scale de tip Likert.

B. Faza Secundară: Testarea pe Pacienți

În a doua fază, s-a urmărit testarea sistemelor pe un eșantion relevant de pacienți. În acest scop, au fost alcătuite grupuri distincte de pacienți pentru fiecare dintre cele trei sisteme. Selecția pacienților s-a realizat pe baza unor criterii stricte de includere și excludere, detaliate în Tabelul 6-1.

Protocolul de Testare a cuprins următoarele elemente:

1. Pacienții au semnat consimțământul informat înainte de a participa la studiu.
2. Pe durata internării în Spitalul Clinic de Recuperare din Iași, pacienții au urmat sesiuni de terapie cu unul dintre sistemele dezvoltate, suplimentar față de programul standard de kinetoterapie și electroterapie.
3. Evaluarea pacienților a fost realizată prin utilizarea unor scale de măsurare specifice pentru membrul superior, aplicate la începutul, mijlocul și finalul perioadei de exerciții.
4. Sesiunile cu sistemele dezvoltate au avut o durată cuprinsă între 30 și 90 de minute, sub supravegherea directă a unui dintre cei doi investigatori.
5. Pacienții au fost instruiți să colaboreze cu dispozitivele și să raporteze orice disconfort (durere locală, oboseală).
6. Parametrii de exercițiu, numărul de repetări și seriile au fost stabilite la începutul programului și ajustate ulterior în funcție de evoluția și nevoile fiecărui pacient.

Prin aceste etape riguroase de testare și validare, s-a asigurat că sistemele MANUTEX, GFTSN și MESPA îndeplinesc standardele necesare pentru a fi utilizate eficient în recuperarea clinică a pacienților cu afecțiuni neurologice și neuromotorii.

Tabel 6-1 Criterii de Includere și Excludere pentru Participarea în Studiul Clinic.

Criterii de includere	Criterii de excludere
Vârsta minimă să fie de 18 ani.	Crize epileptice necontrolate prin tratament adecvat.

Să fie supraviețuitori ai unui accident vascular cerebral.	Prezența unor tulburări severe de vorbire sau cognitive care să afecteze participarea la studiu.
Să fi trecut cel puțin o lună de la producerea accidentului vascular cerebral.	Incapacitatea de a menține nivelul necesar de atenție pentru sarcinile din protocol.
Să prezinte un deficit semnificativ al funcționalității membrului superior, care să afecteze activitățile zilnice, cuantificabil prin scalele alese pentru evaluare.	Prezența de implanturi sau stimulatoare cardiace, cerebrale sau medulare care interzic utilizarea stimulării electrice funcționale.
Să fie capabili să înțeleagă protocolul și să efectueze sarcinile necesare.	Incapacitatea de a menține poziția de șezut independent pentru cel puțin 70 de minute continuu.
Să aibă o stare neurologică stabilă.	Afecțiuni generale care limitează capacitatea de efort fizic.
Să fie capabili să urmeze un program de terapie fizică intensivă.	Participarea la alte studii clinice care ar putea interfera cu protocolul actual.
Să nu aibă alte afecțiuni severe care să interfereze cu participarea la studiu.	Prezența unor boli musculare sau articulare care afectează funcționalitatea membrului superior.
Să fie dispuși să participe la toate sesiuni de evaluare și tratament planificate.	Istoric de reacții adverse severe la terapia fizică sau la stimularea electrică.
Să își exprime disponibilitatea de a participa la studiu prin semnarea consimțământului informat.	Condiții psihologice sau psihiatrice severe care ar putea compromite aderarea la protocolul de studiu.
Să aibă suportul familial necesar pentru a facilita participarea la studiu.	Infecții active sau alte afecțiuni medicale acute care necesită tratament intensiv și ar putea afecta participarea și siguranța în cadrul studiului.

6.2. Evaluarea clinică a sistemului MANUTEX

Sistemul MANUTEX a fost dezvoltat pentru a sprijini recuperarea funcției membrului superior la pacienții care au suferit un accident vascular cerebral (AVC). Acest sistem inovator utilizează stimularea electrică funcțională cu electrozi de suprafață integrați în materialul unei mănuși, combinată cu mobilizarea pasivă printr-un exoschelet mecatronic. În cadrul parteneriatului dintre Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași și Spitalul Clinic de Recuperare, susținut de grantul 25PTE/2020, sistemul MANUTEX a trecut prin două faze de evaluare clinică. În prima fază, sistemul a fost prezentat echipelor medicale din secțiile de Recuperare Clinică Neurologie și Recuperare Clinică Neuromotorie, care au testat funcționalitatea și interfața utilizator, completând chestionare pentru a evalua siguranța și eficacitatea. În a doua fază, sistemul a fost testat pe un grup extins de pacienți, respectând criteriile de includere și excludere.

6.2.1. Evaluarea sistemului MANUTEX de către cadre medicale

Grupul de voluntari sănătoși a inclus 12 subiecți (fizioterapeuți cu cel puțin 5 ani de experiență în tratarea afecțiunilor neurologice) care au semnat consimțământul informat pentru a participa la protocolul studiului, asigurându-se astfel acordul explicit al acestora. Voluntarii nu prezentau afecțiuni neurologice, ortopedice sau reumatologice care ar putea afecta mobilitatea și funcționalitatea părții distale a membrului superior sau influența percepția și reacția la eventuale efecte adverse. De asemenea, nu aveau contraindicații generale pentru stimularea electrică

funcțională, cum ar fi prezența dispozitivelor de tip pacemaker, neurostimulator implantat, afecțiuni tegumentare sau implanturi metalice în zonele de interes.

În cadrul acestui grup de voluntari sănătoși, s-a pus accent pe evaluarea componentelor de stimulare electrică funcțională, incluzând identificarea poziției optime a electrozilor pentru realizarea mișcărilor dorite, determinarea dimensiunilor adecvate ale electrozilor și a parametrilor optimi ai curentului de stimulare. Totodată, s-a evaluat componenta de exoschelet, axându-se pe validarea și îmbunătățirea geometriei forțelor pentru obținerea mișcărilor necesare (direcția și punctele de aplicare), precum și pe validarea și optimizarea programului de stimulare (dinamica de dezvoltare a forței și distribuția teritorială a acestor forțe).

După utilizarea dispozitivului MANUTEX conform protocolului, voluntarilor li s-a aplicat un chestionar compus din 19 întrebări cu răspuns unic, care viza impresia generală și anumite aspecte specifice ale dispozitivului. În urma evaluării s-au putut extrage următoarele grafice:

- ➔ Impresia generală despre utilizarea dispozitivului MANUTEX a fost cotate ca fiind foarte bună de către 9 fizioterapeuți, în timp ce 3 dintre aceștia au evaluat-o ca fiind bună.
- ➔ Stimularea electrică funcțională, integrată în dispozitivul MANUTEX, a fost considerată eficientă în ceea ce privește efectul imediat de mobilizare, precum și confortabilă și ușor de utilizat de către toți voluntarii.
- ➔ În ceea ce privește eficiența mișcărilor segmentelor mâinii generate de mânășă, fără utilizarea sistemului de stimulare electrică funcțională, 9 voluntari au considerat că dispozitivul reproduce mișcărilor intenționate ale segmentelor, în timp ce 3 voluntari au considerat că mânășă generează în mare parte mișcărilor intenționate ale mâinii și degetelor, dar nu în totalitate.
- ➔ Toți cei 12 fizioterapeuți au evaluat sistemul ca fiind atractiv și interesant. Aceștia, punându-se în locul pacienților, au considerat că utilizarea completă a sistemului (inclusiv stimularea electrică funcțională, exoscheletul, mânășă de comandă și pachetul de exerciții) poate fi benefică și eficientă pentru pacienți.

6.2.2. Testarea sistemului MANUTEX pe pacienți

Evaluarea eficienței dispozitivului MANUTEX în recuperarea funcțiilor motorii la pacienții cu accident vascular cerebral a fost realizată pe un eșantion mai mare de pacienți. Astfel, a fost constituit un grup de 21 de pacienți care au utilizat sistemul de exoschelet în cadrul proiectului MANUTEX. Toți pacienții au semnat consimțământul informat și au efectuat 10 ședințe cu sistemul, pe durata internării lor în Spitalul de Recuperare din Iași. Evaluările au fost realizate folosind Scala Fugl-Meyer pentru membrul superior, atât în prima zi de exerciții, cât și după ultima ședință. Fiecare ședință a avut o durată de 60 de minute și s-a desfășurat sub supravegherea directă a unui investigator. După finalizarea protocolului de studiu și prelucrarea datelor, au fost obținute rezultatele detaliate în continuare.

Tabel 6-2 Date generale ale pacienților care au lucrat cu sistemul MANUTEX.

Nr pacient	sex	Mediu de proveniență	Deficit	Vechime
1	M	RURAL	Hemipareză dreaptă	3 luni
2	M	RURAL	Hemipareză stânga	4 luni
3	F	URBAN	Hemipareză dreaptă	1 lună
4	F	RURAL	Hemipareză dreaptă	6 luni

5	M	URBAN	Hemipareză stânga	10 luni
6	M	RURAL	Hemipareză dreaptă	11 luni
7	M	URBAN	Hemipareză dreaptă	8 luni
8	M	RURAL	Hemipareză stânga	7 luni
9	F	URBAN	Hemipareză dreaptă	7 luni
10	M	RURAL	Hemipareză stânga	10 luni
11	M	RURAL	Hemipareză stânga	6 luni
12	M	URBAN	Hemipareză dreaptă	5 luni
13	F	RURAL	Hemipareză dreaptă	9 luni
14	F	RURAL	Hemipareză dreaptă	1 lună
15	M	URBAN	Hemipareză dreaptă	4 luni
16	F	RURAL	Hemipareză dreaptă	2 luni
17	F	URBAN	Hemipareză stânga	5 luni
18	F	RURAL	Hemipareză stânga	7 luni
19	M	RURAL	Hemipareză stânga	11 luni
20	M	RURAL	Hemipareză dreaptă	8 luni
21	F	URBAN	Hemipareză dreaptă	7 luni

Grupul de 21 de pacienți incluși în studiu a fost compus din 12 bărbați și 9 femei, dintre care 8 proveneau din mediul urban, iar restul de 13 din mediul rural. Toți pacienții au suferit un accident vascular cerebral ischemic și prezentau un deficit motor la nivelul membrului superior drept sau stâng, cu o vechime de mai puțin de 12 luni.

Pe baza sub-scorurilor celor trei componente și a modificării globale a acestora, s-a obținut o valoare medie finală a scorului FM-UE de $24,19 \pm 3,09$ puncte. Figura 17 ilustrează valorile inițiale și cele finale obținute în urma procesului de recuperare.

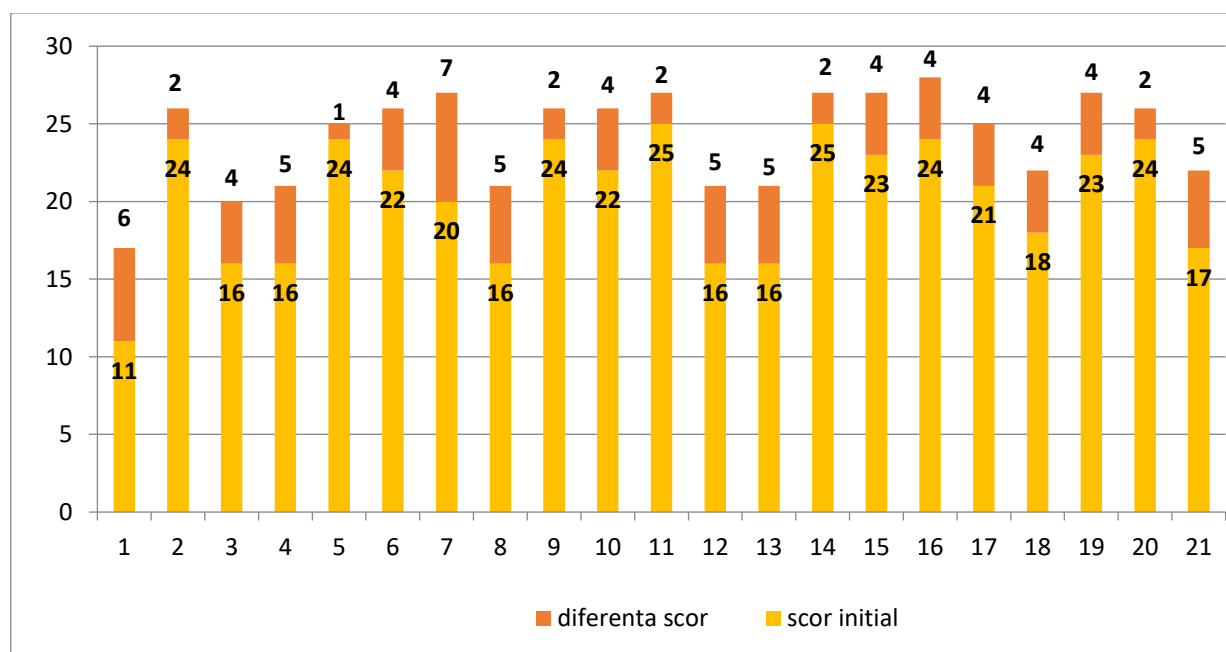


Figura 17 Scorul FM-UE- inițial și diferența după programul de recuperare.

6.3. Testarea sistemului GFTSN în Spitalul clinic de recuperare din Iași

Pentru a oferi pacienților un dispozitiv care să îmbine evaluarea și reabilitarea post-AVC, a fost dezvoltat sistemul GFTSN (Grip Force Tracking System). Acesta ajută la evaluarea și

monitorizarea forței de prindere și de ciupire pe parcursul recuperării medicale. În cadrul colaborării dintre Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” și Spitalul Clinic de Recuperare, susținută de grantul 25PTE/2020, GFTSN a trecut prin două faze de testare clinică. Prima fază a implicat prezentarea și testarea sistemului de către echipele medicale, care au evaluat interfața și funcționalitatea dispozitivului, completând chestionare pentru a determina siguranța și eficacitatea. În a doua fază, sistemul a fost testat pe un grup mai mare de pacienți, conform criteriilor stricte de includere și excludere.

6.3.1. Evaluarea sistemului GFTSN de către cadre medicale

Pentru faza inițială a studiului, a fost format un grup de 10 fizioterapeuți cu expertiză în recuperarea pacienților cu afecțiuni neurologice, care să testeze sistemul GFTSN. Ulterior, aceștia au răspuns la un chestionar compus din 10 întrebări cu răspuns simplu. Scopul acestor întrebări a fost să evalueze performanța și eficacitatea sistemului GFTSN. Răspunsurile lor sunt prezentate în Tabelul 6-3.

Tabel 6-3 Evaluarea dispozitivului GFTSN de către fizioterapeuți,

Nr.	Întrebare	Foarte ușor/ Foarte confortabil/ Foarte precis/ Foarte ușor/ Foarte util/ Deloc/ Foarte eficient/ Foarte bună/ Foarte mulțumit/ Cu siguranță da	Ușor/ Confortabil/ Precis/ Ușor/ Util/ Rareori/ Eficient/ Bună/ Mulțumit/ Da	Moderat/ Acceptabil/ Moderat precis/ Moderat/ Moderat/ Ocazional/ Moderat/ Acceptabilă/ Moderat/ Nu sunt sigur	Dificil/ Incomod/ Neprecis/ Dificil/ Puțin util/ Frecvent/ Ineficient/ Slabă/ Nemulțumit/ Probabil nu	Foarte dificil/ Foarte incomod/ Foarte neprecis/ Foarte dificil/ Inutil/ Mereu/ Foarte ineficient/ Foarte slabă/ Foarte nemulțumit/ Cu siguranță nu
1	Ușurința înțelegerii instrucțiunilor de utilizare	9	1	0	0	0
2	Confortul în utilizarea dispozitivului	10	0	0	0	0
3	Precizia măsurării forței de prindere	10	0	0	0	0

4	Ușurința ajustării setărilor dispozitivului	8	2	0	0	0
5	Utilitatea feedback-ului furnizat de dispozitiv	9	1	0	0	0
6	Disconfort sau durere în timpul utilizării dispozitivului	10	0	0	0	0
7	Eficiența în îmbunătățirea forței de prindere	9	1	0	0	0
8	Calitatea materialelor și a construcției dispozitivului	10	0	0	0	0
9	Mulțumirea față de suportul tehnic și instrucțiunile primite	10	0	0	0	0
10	Recomandarea utilizării dispozitivului	10	0	0	0	0

✓ Ușurința înțelegerii instrucțiunilor de utilizare

Majoritatea covârșitoare a fizioterapeuților (9 din 10) au considerat că instrucțiunile de utilizare ale dispozitivului GFTSN sunt foarte ușor de înțeles. Un singur respondent a evaluat instrucțiunile ca fiind ușor de înțeles, evidențiind astfel claritatea și accesibilitatea instrucțiunilor furnizate. Acest rezultat subliniază faptul că GFTSN este un dispozitiv intuitiv, facilitând integrarea rapidă în practica clinică fără necesitatea unor instruiți complexe.

✓ Confortul în utilizarea dispozitivului

Toți cei 10 fizioterapeuți participanți au raportat că dispozitivul GFTSN este foarte confortabil de utilizat pe durata sesiunilor de terapie. Acest feedback unanim pozitiv indică faptul că designul

ergonomic al dispozitivului GFTSN asigură un nivel înalt de confort pentru utilizatori, contribuind la o experiență de utilizare pozitivă și la o mai bună aderență la protocolul de rehabilitare.

✓ Precizia măsurării forței de prindere

În ceea ce privește precizia măsurării forței de prindere, toți cei 10 respondenți au considerat că dispozitivul GFTSN este foarte precis. Această unanimitate evidențiază fiabilitatea și acuratețea dispozitivului în monitorizarea progresului pacienților, ceea ce este esențial pentru un feedback obiectiv și pentru adaptarea corespunzătoare a programelor de rehabilitare.

✓ Ușurința ajustării setărilor dispozitivului

Opt din zece fizioterapeuți au raportat că ajustarea setărilor dispozitivului GFTSN este foarte ușoară, iar ceilalți doi au considerat această activitate ușoară. Aceste rezultate subliniază flexibilitatea și ușurința de personalizare a dispozitivului, ceea ce permite adaptarea rapidă la nevoile specifice ale fiecărui pacient, contribuind astfel la o terapie mai eficientă și personalizată.

✓ Utilitatea feedback-ului furnizat de dispozitiv

Nouă fizioterapeuți au apreciat feedback-ul furnizat de dispozitiv ca fiind foarte util, iar unul l-a considerat util. Acest feedback pozitiv subliniază importanța informațiilor detaliate oferite de GFTSN, care permit monitorizarea și evaluarea progresului pacienților în mod eficient, contribuind la îmbunătățirea rezultatelor terapeutice.

✓ Disconfort sau durere în timpul utilizării dispozitivului

Toți cei 10 fizioterapeuți au raportat că nu au experimentat disconfort sau durere în timpul utilizării dispozitivului GFTSN. Aceasta confirmă designul prietenos și siguranța dispozitivului, esențiale pentru o experiență terapeutică pozitivă și pentru evitarea complicațiilor sau disconfortului suplimentar pentru pacienți.

✓ Eficiența în îmbunătățirea forței de prindere

Nouă din cei zece respondenți au evaluat dispozitivul GFTSN ca fiind foarte eficient în îmbunătățirea forței de prindere, iar unul l-a considerat eficient. Aceste rezultate pozitive subliniază capacitatea dispozitivului de a contribui semnificativ la rehabilitarea funcțională a pacienților, oferind un instrument valoros în procesul de recuperare post-AVC.

✓ Calitatea materialelor și a construcției dispozitivului

Toți cei 10 fizioterapeuți au evaluat calitatea materialelor și a construcției dispozitivului GFTSN ca fiind foarte bună. Acest feedback indică utilizarea unor materiale de înaltă calitate și o construcție robustă, care asigură durabilitatea și fiabilitatea dispozitivului pe termen lung.

✓ Mulțumirea față de suportul tehnic și instrucțiunile primite

Toți participanții s-au declarat foarte mulțumiți de suportul tehnic și de instrucțiunile primite pentru utilizarea GFTSN. Acest aspect subliniază importanța unui suport tehnic eficient și a unor instrucțiuni clare, care contribuie la o implementare fără probleme și la utilizarea optimă a dispozitivului.

✓ Recomandarea utilizării dispozitivului

Toți cei 10 fizioterapeuți au afirmat că ar recomanda cu siguranță utilizarea dispozitivului GFTSN pacienților cu afecțiuni neurologice. Aceasta reprezintă o validare puternică a eficacității și utilității dispozitivului GFTSN în practica clinică, indicând un nivel înalt de satisfacție și încredere în acest sistem de reabilitare.

Prin aceste răspunsuri, dispozitivul GFTSN demonstrează o performanță excelentă în toate aspectele evaluate, evidențiind astfel potențialul său considerabil în reabilitarea pacienților cu deficiențe motorii post-AVC.

6.3.2. Testarea sistemului GFTSN pe pacienți

Proiectul GFTSN, a fost stabilit un parteneriat în cadrul grantului 25PTE/2020 cu Spitalul de Recuperare din Iași (Clinica de Neurologie) pentru evaluarea pacienților care au suferit un accident vascular cerebral (AVC). Sub supraveghere clinică, acești pacienți vor fi supuși unor teste riguroase pentru a determina eficacitatea sistemului GFTSN. Având în vedere experiența vastă a echipei de cercetare în domeniul reabilitării, testele efectuate pe participanți sănătoși au demonstrat clar utilitatea inovatoare a sistemului GFTSN și au validat așteptările privind cuantificarea îmbunătățirilor prin calculul erorii medii pătrățice relative (RRMSE), după fiecare încercare.

Performanța utilizării interfeței GFTSN a fost evaluată prin calcularea RRMSE între ținta virtuală (semnalul albastru) și feedback-ul utilizatorului (semnalul roșu) pe durata testului. Semnalul țintă virtual se modifica în funcție de forța exercitată voluntar de către pacient, iar durata probei era ajustată în funcție de gradul de afectare al pacientului. Coordonarea voluntară a mâinii utilizatorului era esențială, iar o eroare de urmărire mai mică indica un control muscular mai bun și o funcționalitate îmbunătățită a mâinii.

Pentru a crește rezoluția erorii, noua interfață cu utilizatorul multiplică valoarea erorii obținute de zece ori. De exemplu, un subiect sănătos poate avea o eroare de urmărire cuprinsă între 0,5 și 4 RRMSE. Amplitudinea maximă a semnalului țintă (albastru) este menținută la 80% din forța maximă de prindere (MGF).

Proiectul GFTSN a fost implementat în spital, unde a fost testat pe un lot de 10 pacienți, atât în prima zi de spitalizare, cât și în ultima zi de spitalizare (ziua 10), pentru a evalua eficiența recuperării medicale. Datele colectate în urma acestor teste sunt prezentate în Tabelul 6-4.

Tabel 6-4 Testele inițiale și finale realizate pe 10 pacienți după 10 ședințe de terapie

Pacient	Deficit	La începutul celor 10 zile de recuperare		La finalul celor 10 zile de recuperare		Procent de îmbunătățire Sinus [%]	Procent de îmbunătățire Dreptunghic [%]
		Sin. Test [RRMSE]	Drept. Test [RRMSE]	Sin. Test [RRMSE]	Drept. Test [RRMSE]		
1	Hemipareză dreaptă	10,907	16,1393	6,0428	7,4323	44,6	53,95
2	Hemipareză dreaptă	10,9912	21,3147	5,8299	9,7978	46,96	54,03

3	Hemipareză dreaptă	11,5426	14,3765	6,813	9,9727	40,88	30,63
4	Hemipareză dreaptă	9,3012	13,5433	5,7795	10,2047	37,84	24,65
5	Hemipareză dreaptă	10,291	18,6452	5,6608	12,894	44,99	30,85
6	Hemipareză stângă	12,8953	12,774	8,9608	10,8507	30,51	15,06
7	Hemipareză stângă	8,5825	9,332	6,8325	9,0248	20,39	3,29
8	Hemipareză stângă	9,1383	12,209	7,0691	11,7514	22,64	3,75
9	Hemipareză stângă	8,6381	11,7433	7,7348	10,6306	10,46	9,48
10	Hemipareză stângă	10,5623	10,7142	7,9516	9,8409	24,72	8,15

Totodată, testele efectuate pe o undă sinusoidală sunt prezentate în Figura 18. Rezultatele înregistrate, reliefate prin procente de cuantificare a îmbunătățirilor, variază între 10,46% și 46,96%.

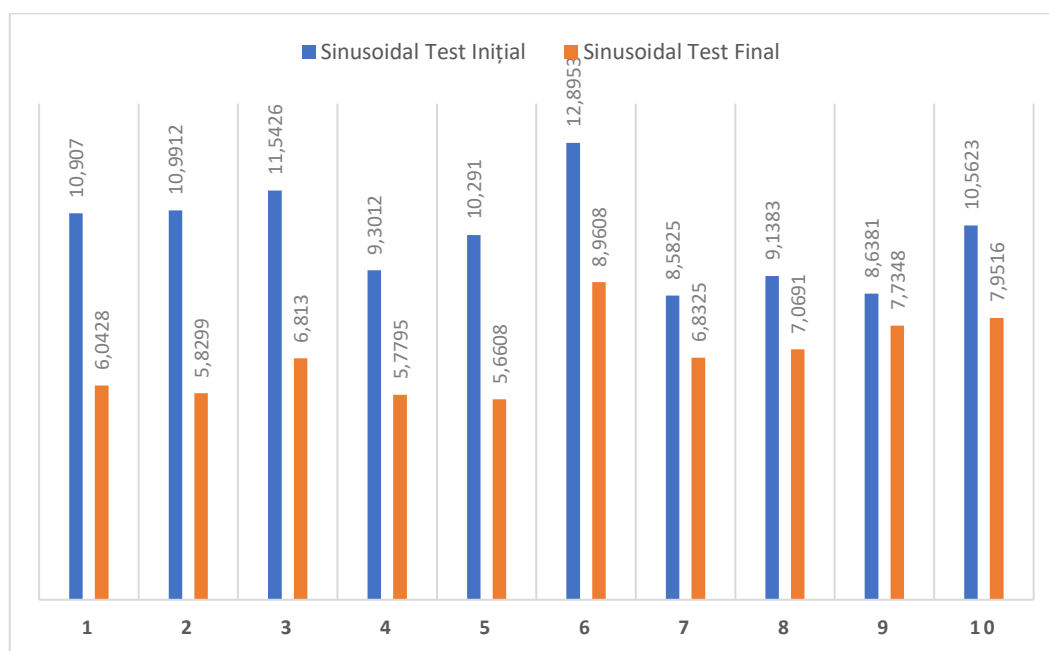


Figura 18 Rezultatele inițiale și finale pentru fiecare pacient- undă sinusoidală

Alte sarcini disponibile în meniul interfeței grafice includ urmărirea semnalelor de undă de tip triunghi sau pătrat. Sarcina de tip formă de undă dreptunghiulară prezintă cel mai ridicat nivel de dificultate, evaluând capacitatea utilizatorului de a răspunde rapid la schimbările bruște ale semnalului țintă. Procentul de îmbunătățire în cazul testelor pe o undă dreptunghiulară variază între 3,29% și 54,03%. De aceea, se poate observa o îmbunătățire mai mică pentru evaluarea pacienților pe o undă dreptunghiulară (vezi Figura 19).

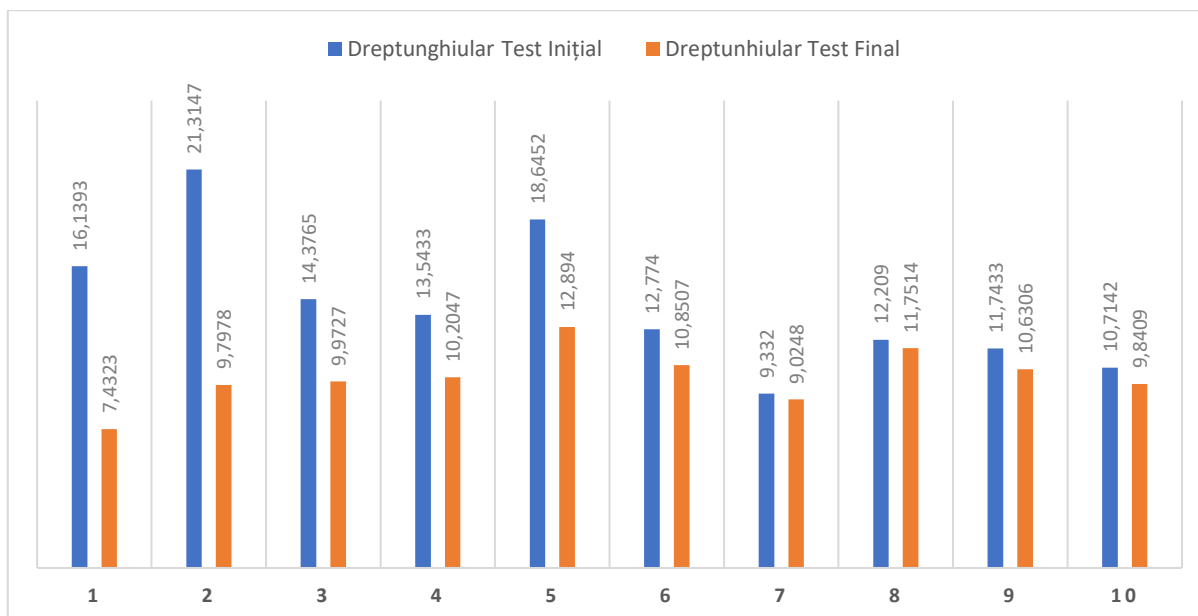


Figura 19 Rezultatele inițiale și finale pentru fiecare pacient- undă dreptunghiulară

6.4. Implementarea și validarea clinică a sistemului MESPA pentru reducerea spasticității

Sistemul MESPA integrează metodele convenționale de recuperare, în special kinetoterapia, pentru a obține îmbunătățiri semnificative în reducerea spasticității musculare. Acest sistem utilizează mobilizarea și stretching-ul pentru a crește flexibilitatea și amplitudinea de mișcare, reducând contracturile și rigiditatea musculară. În contextul parteneriatului dintre Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” și Spitalul Clinic de Recuperare, în cadrul grantului 25PTE/2020, MESPA a fost testat și validat în două faze clinice. În prima fază, echipele medicale au testat funcționalitatea și interfața sistemului, completând chestionare pentru a evalua siguranța și eficacitatea. A doua fază a implicat testarea sistemului pe un grup extins de pacienți, selectați pe baza criteriilor de includere și excludere, pentru a valida performanțele sistemului în context clinic.

6.4.1. Evaluarea sistemului MESPA de către cadre medicale

Prima fază a testării sistemului MESPA a urmat un protocol similar cu cel utilizat pentru sistemele MANUTEX și GFTSN. Astfel, 20 de subiecți sănătoși, majoritatea fiind medici și fizioterapeuți specializați în recuperarea afecțiunilor neurologice, au fost selectați pentru a testa acest sistem. Testarea s-a desfășurat în cadrul Spitalului Clinic de Recuperare din Iași. La finalul sesiunilor de testare, participanții au completat un chestionar cu scopul de a evalua experiența și eficiența sistemului MESPA din perspectiva lor profesională.

Majoritatea participanților (19 din 20) au găsit instrucțiunile de utilizare ale sistemului MESPA foarte ușor de înțeles. Aceasta sugerează că documentația și ghidurile de utilizare sunt bine structurate și clare, facilitând utilizarea corectă a sistemului.

Feedback-ul cu privire la confortul utilizării sistemului este extrem de pozitiv, 18 participanți considerând că utilizarea sistemului este foarte confortabilă. Aceasta indică faptul că designul sistemului a fost conceput cu atenție la detalii, pentru a asigura o experiență plăcută și fără disconfort pentru utilizatori.

Exercițiile integrate în sistemul MESPA au fost evaluate ca fiind foarte eficiente de 17 dintre participanți, ceea ce demonstrează potențialul sistemului de a oferi o reabilitare eficientă și de a contribui semnificativ la îmbunătățirea mobilității pacienților.

Toți participanții au găsit foarte ușor să schimbe modul de lucru al sistemului MESPA, sugerând o interfață intuitivă și prietenoasă cu utilizatorul. Acest aspect este crucial pentru eficiența și acceptabilitatea unui sistem de reabilitare în practica clinică.

Feedback-ul furnizat de sistem a fost considerat foarte util de toți participanții. Acest rezultat subliniază importanța feedback-ului în timp real pentru monitorizarea și ajustarea procesului de reabilitare, asigurând astfel o îmbunătățire continuă a performanțelor pacienților.

Marea majoritate a participanților (17 din 20) nu au experimentat deloc disconfort sau durere în timpul utilizării sistemului MESPA. Aceasta sugerează că sistemul este bine tolerat și sigur pentru utilizare, un aspect esențial pentru acceptarea pe termen lung a oricărui dispozitiv medical.

Toți participanții au evaluat sistemul MESPA ca fiind foarte eficient în reducerea spasticității musculare. Acest rezultat indică un potențial ridicat al sistemului de a fi integrat în programele de reabilitare pentru pacienții cu spasticitate musculară.

Calitatea materialelor și a construcției sistemului MESPA a fost evaluată foarte bine de toți participanții. Aceasta reflectă un nivel ridicat de fiabilitate și durabilitate a sistemului, aspecte esențiale pentru utilizarea sa pe termen lung în medii clinice.

Toți participanții s-au declarat foarte mulțumiți de suportul tehnic și instrucțiunile primite, ceea ce evidențiază importanța unei asistențe tehnice competente și a unor ghiduri clare pentru utilizarea eficientă a sistemului.

Toți participanții ar recomanda cu siguranță utilizarea sistemului MESPA pacienților cu spasticitate la nivelul mâinii, ceea ce indică o încredere deplină în eficiența și beneficiile sistemului pentru această categorie de pacienți.

Rezultatele obținute din această primă fază de testare sunt extrem de promițătoare, sugerând că sistemul MESPA este ușor de utilizat, confortabil și eficient în reabilitarea pacienților cu afecțiuni neurologice. Aceste evaluări pozitive, alături de feedback-ul detaliat oferit de experții implicați, vor ghida dezvoltările ulterioare și implementarea pe scară largă a sistemului.

6.4.2. Testarea sistemului MESPA pe pacienți

Pentru validarea sistemului MESPA, s-a luat în considerare parteneriatul în vigoare între Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași și Spitalul Clinic de Recuperare, în cadrul grantului 25PTE/2020. În această fază de testare a dispozitivului MESPA pe pacienți, s-au creat două grupe a câte 5 pacienți, fiecare suferind de accident vascular cerebral (AVC) ischemic:

- I. Prima grupă a beneficiat de terapie clasică cu un fizioterapeut timp de 30 de minute, după care s-a încercat imitarea exercițiilor realizate de dispozitivul MESPA în cele trei moduri (mobilizări și stretching) timp de aproximativ 60 de minute.
- II. A doua grupă a urmat terapie clasică timp de 30 de minute cu un fizioterapeut, după care a lucrat câte 20 de minute în fiecare mod al dispozitivului MESPA (60 de minute în total).

Ambele loturi de pacienți au fost evaluate înainte de începerea tratamentului, în a 9-a zi și în ziua următoare celei de-a 15-a zi de tratament (ziua 16), precum și în ziua a 15-a după externare,

utilizând scala Ashworth Modificată. Pentru a face posibil acest lucru, au fost aleși pacienți cu domiciliul în municipiul Iași sau în zona metropolitană a Iașului. Această structură de evaluare a fost menită să asigure validitatea și relevanța rezultatelor obținute, oferind o bază solidă pentru a evalua eficiența sistemului MESPA în ameliorarea spasticității mâinii la pacienții post-AVC.

S-a încercat ca cele două grupuri să fie cât mai asemănătoare, după cum urmează: fiecare lot a avut câte 2 femei și 3 bărbați, toți cu AVC ischemic care a generat spasticitatea mâinii. Media de vârstă pentru primul lot a fost de 54,4 ani, iar pentru al doilea lot de 54,6 ani. Pentru ambele loturi, media de debut a bolii a fost de 8,8 luni, iar toți cei 10 pacienți din cele două grupuri au avut cel puțin scorul 2 pe scala Ashworth Modificată.

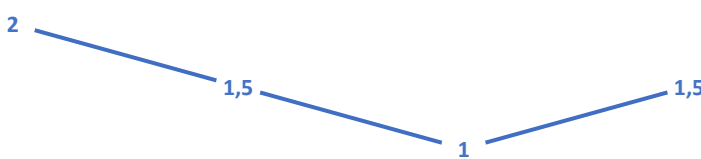
Tabel 6-5 Date generale despre pacienții introduși în această etapă

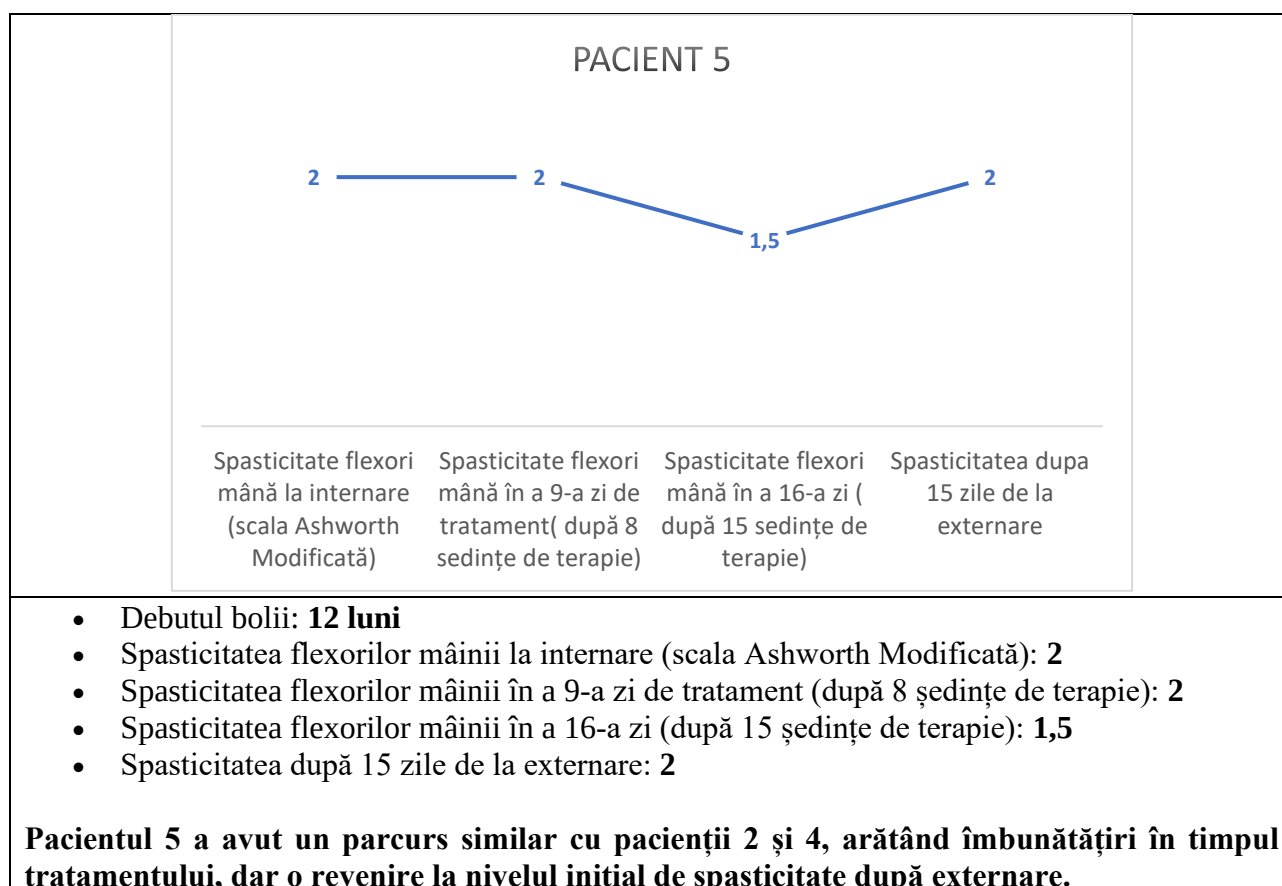
Lot terapie clasică + Stretching				
Crt.	Inițiale nume	Sex	Vârstă	Afecțiune
1	D. N.	M	45	Hemipareză stângă
2	N. C.	M	56	Hemipareză stângă
3	C. M.	F	55	Hemipareză stângă
4	V. A.	F	57	Hemipareză stângă
5	A. E. C.	M	59	Hemipareză stângă
Lot terapie clasică + MESPA				
Crt.	Inițiale nume	Sex	Vârstă	Afecțiune
1	D. M.	F	60	Hemipareză stângă
2	M. P.	F	59	Hemipareză stângă
3	B. I. V.	M	55	Hemipareză stângă
4	S. M. I.	M	50	Hemipareză stângă
5	T. P.	M	49	Hemipareză stângă

Tabelul 6-6 prezintă evoluția spasticității flexorilor mâinii la pacienții din primul lot care au urmat terapie clasică cu un fizioterapeut, completată de imitarea exercițiilor realizate de dispozitivul MESPA. Aceste date oferă o perspectivă detaliată asupra eficacității tratamentului în reducerea spasticității și evidențiază importanța unui program de reabilitare structurat și adaptat nevoilor individuale ale pacienților.

Tabel 6-6 Evoluția pacienților din primul lot

	PACIENT 1 <table><thead><tr><th>Spasticitate flexori mână la internare (scala Ashworth Modificată)</th><th>Spasticitate flexori mână în a 9-a zi de tratament(după 8 sedințe de terapie)</th><th>Spasticitate flexori mână în a 16-a zi (după 15 sedințe de terapie)</th><th>Spasticitatea dupa 15 zile de la externare</th></tr></thead><tbody><tr><td>2</td><td>1,5</td><td>1,5</td><td>1,5</td></tr></tbody></table>	Spasticitate flexori mână la internare (scala Ashworth Modificată)	Spasticitate flexori mână în a 9-a zi de tratament(după 8 sedințe de terapie)	Spasticitate flexori mână în a 16-a zi (după 15 sedințe de terapie)	Spasticitatea dupa 15 zile de la externare	2	1,5	1,5	1,5	
Spasticitate flexori mână la internare (scala Ashworth Modificată)	Spasticitate flexori mână în a 9-a zi de tratament(după 8 sedințe de terapie)	Spasticitate flexori mână în a 16-a zi (după 15 sedințe de terapie)	Spasticitatea dupa 15 zile de la externare							
2	1,5	1,5	1,5							
• Debutul bolii: 6 luni • Spasticitatea flexorilor mâinii la internare (scala Ashworth Modificată): 2 • Spasticitatea flexorilor mâinii în a 9-a zi de tratament (după 8 ședințe de terapie): 1,5 • Spasticitatea flexorilor mâinii în a 16-a zi (după 15 ședințe de terapie): 1,5 • Spasticitatea după 15 zile de la externare: 1,5 Pacientul 1 a prezentat o reducere semnificativă a spasticității după 8 ședințe și a menținut această îmbunătățire până la finalul tratamentului și după 15 zile de la externare.										
	PACIENT 2 <table><thead><tr><th>Spasticitate flexori mână la internare (scala Ashworth Modificată)</th><th>Spasticitate flexori mână în a 9-a zi de tratament(după 8 sedințe de terapie)</th><th>Spasticitate flexori mână în a 16-a zi (după 15 sedințe de terapie)</th><th>Spasticitatea dupa 15 zile de la externare</th></tr></thead><tbody><tr><td>2</td><td>2</td><td>1,5</td><td>2</td></tr></tbody></table>	Spasticitate flexori mână la internare (scala Ashworth Modificată)	Spasticitate flexori mână în a 9-a zi de tratament(după 8 sedințe de terapie)	Spasticitate flexori mână în a 16-a zi (după 15 sedințe de terapie)	Spasticitatea dupa 15 zile de la externare	2	2	1,5	2	
Spasticitate flexori mână la internare (scala Ashworth Modificată)	Spasticitate flexori mână în a 9-a zi de tratament(după 8 sedințe de terapie)	Spasticitate flexori mână în a 16-a zi (după 15 sedințe de terapie)	Spasticitatea dupa 15 zile de la externare							
2	2	1,5	2							
• Debutul bolii: 9 luni • Spasticitatea flexorilor mâinii la internare (scala Ashworth Modificată): 2 • Spasticitatea flexorilor mâinii în a 9-a zi de tratament (după 8 ședințe de terapie): 2 • Spasticitatea flexorilor mâinii în a 16-a zi (după 15 ședințe de terapie): 1,5 • Spasticitatea după 15 zile de la externare: 2 Pacientul 2 a arătat o îmbunătățire a spasticității pe durata tratamentului, însă după externare, spasticitatea a revenit la nivelul inițial.										

PACIENT 3  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Spasticitate flexori mână la internare (scala Ashworth Modificată)</th> <th>Spasticitate flexori mână în a 9-a zi de tratament(după 8 sedințe de terapie)</th> <th>Spasticitate flexori mână în a 16-a zi (după 15 sedințe de terapie)</th> <th>Spasticitatea dupa 15 zile de la externare</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2</td> <td>1,5</td> <td>1</td> <td>1,5</td> </tr> </tbody> </table>				Spasticitate flexori mână la internare (scala Ashworth Modificată)	Spasticitate flexori mână în a 9-a zi de tratament(după 8 sedințe de terapie)	Spasticitate flexori mână în a 16-a zi (după 15 sedințe de terapie)	Spasticitatea dupa 15 zile de la externare	2	1,5	1	1,5
Spasticitate flexori mână la internare (scala Ashworth Modificată)	Spasticitate flexori mână în a 9-a zi de tratament(după 8 sedințe de terapie)	Spasticitate flexori mână în a 16-a zi (după 15 sedințe de terapie)	Spasticitatea dupa 15 zile de la externare								
2	1,5	1	1,5								
• Debutul bolii: 7 luni • Spasticitatea flexorilor mâinii la internare (scala Ashworth Modificată): 2 • Spasticitatea flexorilor mâinii în a 9-a zi de tratament (după 8 ședințe de terapie): 1,5 • Spasticitatea flexorilor mâinii în a 16-a zi (după 15 ședințe de terapie): 1 • Spasticitatea după 15 zile de la externare: 1,5 Pacientul 3 a prezentat o reducere semnificativă a spasticității, dar a înregistrat o ușoară creștere după externare, rămânând însă mai mică decât valoarea inițială.											
PACIENT 4  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Spasticitate flexori mână la internare (scala Ashworth Modificată)</th> <th>Spasticitate flexori mână în a 9-a zi de tratament(după 8 sedințe de terapie)</th> <th>Spasticitate flexori mână în a 16-a zi (după 15 sedințe de terapie)</th> <th>Spasticitatea dupa 15 zile de la externare</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2</td> <td>2</td> <td>1,5</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>				Spasticitate flexori mână la internare (scala Ashworth Modificată)	Spasticitate flexori mână în a 9-a zi de tratament(după 8 sedințe de terapie)	Spasticitate flexori mână în a 16-a zi (după 15 sedințe de terapie)	Spasticitatea dupa 15 zile de la externare	2	2	1,5	2
Spasticitate flexori mână la internare (scala Ashworth Modificată)	Spasticitate flexori mână în a 9-a zi de tratament(după 8 sedințe de terapie)	Spasticitate flexori mână în a 16-a zi (după 15 sedințe de terapie)	Spasticitatea dupa 15 zile de la externare								
2	2	1,5	2								
• Debutul bolii: 10 luni • Spasticitatea flexorilor mâinii la internare (scala Ashworth Modificată): 2 • Spasticitatea flexorilor mâinii în a 9-a zi de tratament (după 8 ședințe de terapie): 2 • Spasticitatea flexorilor mâinii în a 16-a zi (după 15 ședințe de terapie): 1,5 • Spasticitatea după 15 zile de la externare: 2 Pacientul 4 a arătat îmbunătățiri pe parcursul tratamentului, dar spasticitatea a revenit la valoarea inițială după externare, similar cu pacientul 2.											



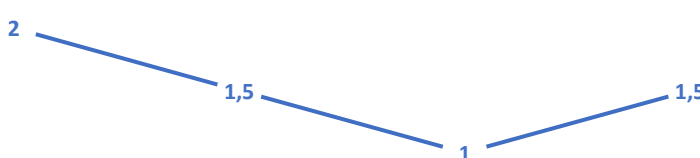
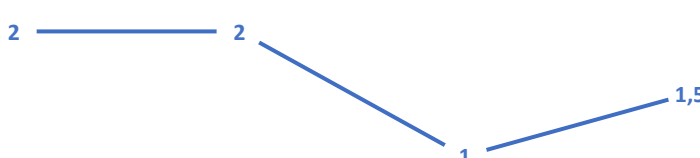
În urma evaluării celor 5 pacienți din primul lot, care au urmat terapie clasică cu un fizioterapeut și au încercat să imite exercițiile realizate de dispozitivul MESPA, s-a observat o îmbunătățire semnificativă prin diminuarea spasticității în timpul tratamentului. Cu toate acestea, la unii pacienți (Pacientul 2, 4 și 5), spasticitatea a revenit la nivelul inițial după externare. Aceste rezultate sugerează că, deși terapia clasică combinată cu imitarea exercițiilor MESPA este eficientă pe termen scurt, menținerea beneficiilor pe termen lung poate necesita intervenții suplimentare sau sesiuni continue de terapie pe o perioadă mai lungă de timp.

Tabelul 6-7 prezintă evoluția spasticității flexorilor mâinii la un grup de pacienți care au utilizat sistemul MESPA în cadrul unui studiu clinic realizat la Spitalul Clinic de Recuperare din Iași. Acești pacienți, diagnosticați cu accident vascular cerebral (AVC) ischemic, au fost supuși unei terapii combinând tehnici tradiționale de fizioterapie cu exerciții specifice oferite de sistemul MESPA.

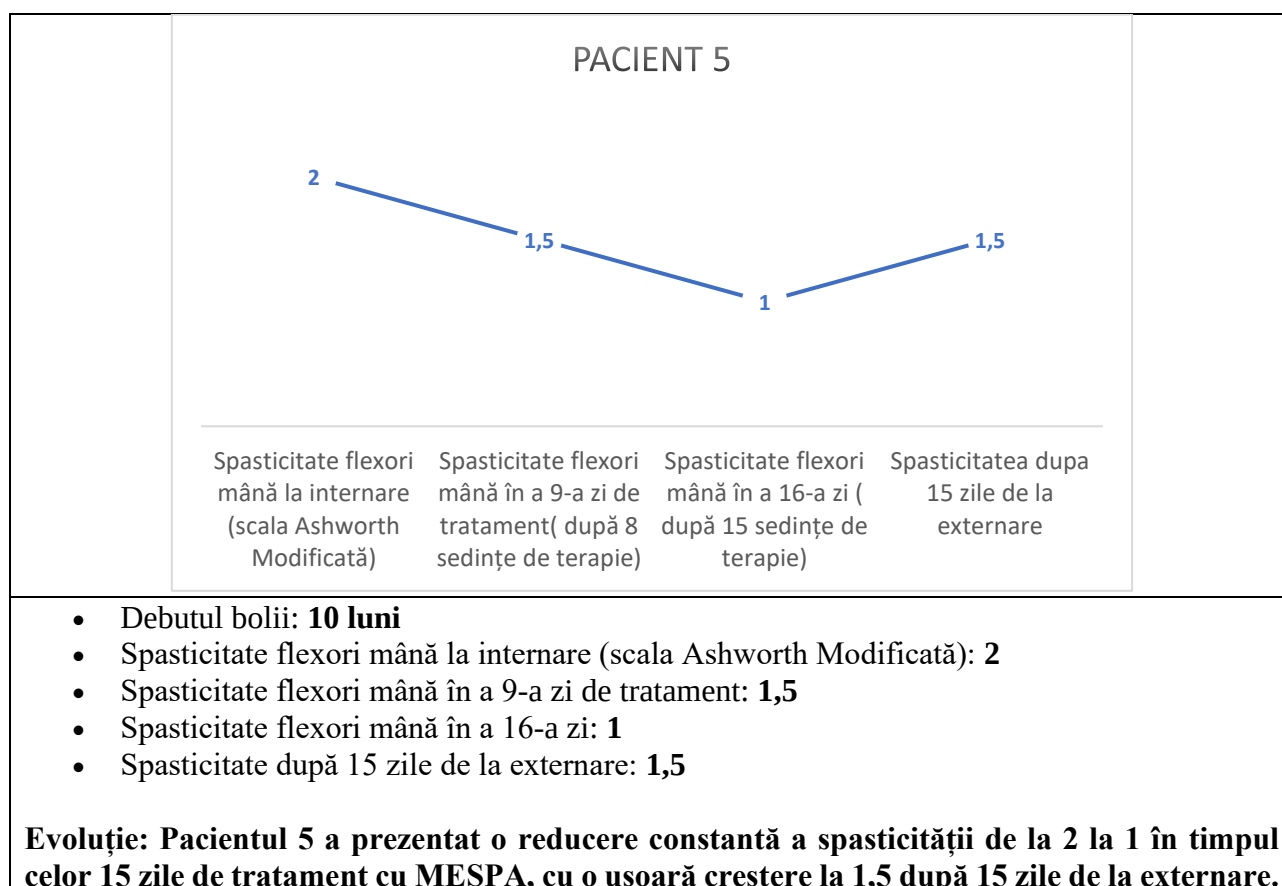
Fiecare pacient a beneficiat de 30 de minute de terapie clasică, urmate de 60 de minute de exerciții asistate de MESPA, împărțite în trei sesiuni de câte 20 de minute pentru fiecare mod de funcționare al dispozitivului (mobilizări și stretching). Evaluările au fost realizate în patru momente distincte: la internare, în a 9-a zi de tratament (după 8 ședințe de terapie), în a 16-a zi (după 15 ședințe de terapie) și la 15 zile după externare.

Scopul acestor evaluări a fost de a monitoriza progresul spasticității flexorilor mâinii folosind scala Ashworth Modificată, oferind astfel o imagine clară a eficienței sistemului MESPA în cadrul unui program de recuperare neurologică. Datele colectate au fost analizate pentru a determina impactul terapiei asupra reducerii spasticității și pentru a observa menținerea îmbunătățirilor terapeutice după finalizarea tratamentului.

Tabel 6-7 Evoluția pacienților din lotul al II-lea

	PACIENT 1 <table><tr><th>Spasticitate flexori mână la internare (scala Ashworth Modificată)</th><th>Spasticitate flexori mână în a 9-a zi de tratament(după 8 sedințe de terapie)</th><th>Spasticitate flexori mână în a 16-a zi (după 15 sedințe de terapie)</th><th>Spasticitatea dupa 15 zile de la externare</th></tr><tr><td>2</td><td>1,5</td><td>1</td><td>1,5</td></tr></table>	Spasticitate flexori mână la internare (scala Ashworth Modificată)	Spasticitate flexori mână în a 9-a zi de tratament(după 8 sedințe de terapie)	Spasticitate flexori mână în a 16-a zi (după 15 sedințe de terapie)	Spasticitatea dupa 15 zile de la externare	2	1,5	1	1,5	
Spasticitate flexori mână la internare (scala Ashworth Modificată)	Spasticitate flexori mână în a 9-a zi de tratament(după 8 sedințe de terapie)	Spasticitate flexori mână în a 16-a zi (după 15 sedințe de terapie)	Spasticitatea dupa 15 zile de la externare							
2	1,5	1	1,5							
• Debutul bolii: 12 luni • Spasticitate flexori mână la internare (scala Ashworth Modificată): 2 • Spasticitate flexori mână în a 9-a zi de tratament: 1,5 • Spasticitate flexori mână în a 16-a zi: 1 • Spasticitate după 15 zile de la externare: 1,5 Evoluție: Pacientul 1 a prezentat o reducere constantă a spasticității de la 2 la 1 în timpul celor 15 zile de tratament cu MESPA, cu o ușoară creștere la 1,5 după 15 zile de la externare.										
	PACIENT 2 <table><tr><th>Spasticitate flexori mână la internare (scala Ashworth Modificată)</th><th>Spasticitate flexori mână în a 9-a zi de tratament(după 8 sedințe de terapie)</th><th>Spasticitate flexori mână în a 16-a zi (după 15 sedințe de terapie)</th><th>Spasticitatea dupa 15 zile de la externare</th></tr><tr><td>2</td><td>2</td><td>1</td><td>1,5</td></tr></table>	Spasticitate flexori mână la internare (scala Ashworth Modificată)	Spasticitate flexori mână în a 9-a zi de tratament(după 8 sedințe de terapie)	Spasticitate flexori mână în a 16-a zi (după 15 sedințe de terapie)	Spasticitatea dupa 15 zile de la externare	2	2	1	1,5	
Spasticitate flexori mână la internare (scala Ashworth Modificată)	Spasticitate flexori mână în a 9-a zi de tratament(după 8 sedințe de terapie)	Spasticitate flexori mână în a 16-a zi (după 15 sedințe de terapie)	Spasticitatea dupa 15 zile de la externare							
2	2	1	1,5							
• Debutul bolii: 9 luni • Spasticitate flexori mână la internare (scala Ashworth Modificată): 2 • Spasticitate flexori mână în a 9-a zi de tratament: 2 • Spasticitate flexori mână în a 16-a zi: 1 • Spasticitate după 15 zile de la externare: 1,5 Evoluție: Pacientul 2 a menținut un nivel constant de spasticitate de 2 până în ziua a 9-a, urmând o îmbunătățire semnificativă la 1 în ziua a 16-a. La 15 zile post-externare, spasticitatea a crescut ușor la 1,5.										

	PACIENT 3 <table><tr><th>Spasticitate flexori mână la internare (scala Ashworth Modificată)</th><th>Spasticitate flexori mână în a 9-a zi de tratament(după 8 sedințe de terapie)</th><th>Spasticitate flexori mână în a 16-a zi (după 15 sedințe de terapie)</th><th>Spasticitatea dupa 15 zile de la externare</th></tr><tr><td>2</td><td>1</td><td>1</td><td>1,5</td></tr></table>				Spasticitate flexori mână la internare (scala Ashworth Modificată)	Spasticitate flexori mână în a 9-a zi de tratament(după 8 sedințe de terapie)	Spasticitate flexori mână în a 16-a zi (după 15 sedințe de terapie)	Spasticitatea dupa 15 zile de la externare	2	1	1	1,5	
Spasticitate flexori mână la internare (scala Ashworth Modificată)	Spasticitate flexori mână în a 9-a zi de tratament(după 8 sedințe de terapie)	Spasticitate flexori mână în a 16-a zi (după 15 sedințe de terapie)	Spasticitatea dupa 15 zile de la externare										
2	1	1	1,5										
• Debutul bolii: 5 luni • Spasticitate flexori mână la internare (scala Ashworth Modificată): 2 • Spasticitate flexori mână în a 9-a zi de tratament: 1 • Spasticitate flexori mână în a 16-a zi: 1 • Spasticitate după 15 zile de la externare: 1,5 Evoluție: Pacientul 3 a arătat o scădere semnificativă a spasticității de la 2 la 1 până în ziua a 9-a, menținând acest nivel până în ziua a 16-a. După 15 zile de la externare, spasticitatea a crescut ușor la 1,5.													
	PACIENT 4 <table><tr><th>Spasticitate flexori mână la internare (scala Ashworth Modificată)</th><th>Spasticitate flexori mână în a 9-a zi de tratament(după 8 sedințe de terapie)</th><th>Spasticitate flexori mână în a 16-a zi (după 15 sedințe de terapie)</th><th>Spasticitatea dupa 15 zile de la externare</th></tr><tr><td>1,5</td><td>1,5</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>				Spasticitate flexori mână la internare (scala Ashworth Modificată)	Spasticitate flexori mână în a 9-a zi de tratament(după 8 sedințe de terapie)	Spasticitate flexori mână în a 16-a zi (după 15 sedințe de terapie)	Spasticitatea dupa 15 zile de la externare	1,5	1,5	1	1	
Spasticitate flexori mână la internare (scala Ashworth Modificată)	Spasticitate flexori mână în a 9-a zi de tratament(după 8 sedințe de terapie)	Spasticitate flexori mână în a 16-a zi (după 15 sedințe de terapie)	Spasticitatea dupa 15 zile de la externare										
1,5	1,5	1	1										
• Debutul bolii: 8 luni • Spasticitate flexori mână la internare (scala Ashworth Modificată): 1,5 • Spasticitate flexori mână în a 9-a zi de tratament: 1,5 • Spasticitate flexori mână în a 16-a zi: 1 • Spasticitate după 15 zile de la externare: 1 Evoluție: Pacientul 4 a menținut un nivel constant de spasticitate de 1,5 până în ziua a 9-a, urmată de o reducere la 1 în ziua a 16-a. Această îmbunătățire a fost menținută și după 15 zile de la externare.													



Aceste rezultate evidențiază eficiența sistemului MESPA în reducerea spasticității flexorilor mâinii la pacienții cu AVC ischemic, demonstrând o îmbunătățire semnificativă a stării pacienților pe parcursul perioadei de tratament și menținerea beneficiilor terapeutice după externare.

6.4.3. Comparație detaliată între cele două loturi de pacienți

În cadrul acestui studiu clinic realizat la Spitalul Clinic de Recuperare din Iași, au fost evaluate două loturi de pacienți diagnosticați cu accident vascular cerebral (AVC) ischemic, cu scopul de a compara eficiența terapiei tradiționale de fizioterapie cu cea combinată cu sistemul MESPA. Primul lot a beneficiat exclusiv de terapie clasică, în timp ce al doilea lot a combinat această terapie cu utilizarea sistemului MESPA.

Primul lot de pacienți a beneficiat de 30 de minute de terapie clasică urmate de 60 de minute de exerciții care au imitat modul de funcționare al sistemului MESPA. Cel de-al doilea lot a urmat un program de 30 de minute de terapie clasică urmate de 60 de minute de exerciții efectuate direct cu sistemul MESPA, împărțite în trei sesiuni de câte 20 de minute pentru fiecare mod de funcționare (mobilizări și stretching).

Evaluările au fost realizate în patru momente distincte: la internare, în a 9-a zi de tratament (după 8 ședințe de terapie), în a 16-a zi (după 15 ședințe de terapie) și la 15 zile după externare, utilizând scala Ashworth Modificată pentru a măsura spasticitatea flexorilor mâinii.

✓ **Evoluția Pacienților din Lotul 1 (Terapie Clasică)**

- ❖ **Pacientul 1:** Debutul bolii a fost de 6 luni. Spasticitatea inițială a fost 2, care s-a redus la 1,5 în a 9-a zi și a rămas constantă până după 15 zile de la externare.
- ❖ **Pacientul 2:** Debutul bolii a fost de 9 luni. Spasticitatea inițială a fost 2, a scăzut la 1,5 în a 9-a zi, dar a revenit la 2 după externare.

- ❖ **Pacientul 3:** Debutul bolii a fost de 7 luni. Spasticitatea inițială a fost 2, a scăzut la 1 în a 16-a zi și a crescut ușor la 1,5 după externare.
- ❖ **Pacientul 4:** Debutul bolii a fost de 10 luni. Spasticitatea inițială a fost 2, a scăzut la 1,5 în a 9-a zi, dar a revenit la 2 după externare.
- ❖ **Pacientul 5:** Debutul bolii a fost de 12 luni. Spasticitatea inițială a fost 2, a scăzut la 1,5 în a 9-a zi și a rămas constantă până după externare.

✓ **Evoluția Pacienților din Lotul 2 (Terapie Combinată cu MESPA)**

- ❖ **Pacientul 1:** Debutul bolii a fost de 12 luni. Spasticitatea inițială a fost 2, a scăzut la 1,5 în a 9-a zi și la 1 în a 16-a zi, crescând ușor la 1,5 după externare.
- ❖ **Pacientul 2:** Debutul bolii a fost de 9 luni. Spasticitatea inițială a fost 2, a scăzut direct la 1 în a 16-a zi și a crescut ușor la 1,5 după externare.
- ❖ **Pacientul 3:** Debutul bolii a fost de 5 luni. Spasticitatea inițială a fost 2, a scăzut la 1 în a 9-a zi și a rămas constantă până după externare.
- ❖ **Pacientul 4:** Debutul bolii a fost de 8 luni. Spasticitatea inițială a fost 1,5 și a rămas constantă până în a 16-a zi, scăzând la 1 după externare.
- ❖ **Pacientul 5:** Debutul bolii a fost de 10 luni. Spasticitatea inițială a fost 2, a scăzut la 1,5 în a 9-a zi și la 1 în a 16-a zi, crescând ușor la 1,5 după externare.

Comparând cele două loturi de pacienți, se observă următoarele:

Reducerea Spasticității: *Ambele loturi au înregistrat o reducere a spasticității pe parcursul tratamentului, însă lotul care a utilizat sistemul MESPA a prezentat o reducere mai consistentă și mai durabilă a spasticității, menținându-se la valori mai scăzute chiar și după externare.*

Stabilitatea Rezultatelor: *În lotul 1, pacienții au prezentat fluctuații mai mari ale spasticității după externare, în timp ce lotul 2 a avut rezultate mai stabile, indicând un efect mai durabil al terapiei combinate cu MESPA.*

Timpul de Reducere a Spasticității: *În lotul 2, reducerea spasticității a fost mai rapidă, pacienții atingând valori mai scăzute într-un timp mai scurt comparativ cu lotul 1.*

Astfel, se poate concluziona că utilizarea sistemului MESPA în combinație cu terapia clasică aduce beneficii semnificative în reducerea spasticității și menținerea îmbunătățirilor terapeutice pe termen lung.

7 Concluzii generale

7.1. Contribuțiile la dezvoltarea sistemului MESPA

Dezvoltarea sistemului MESPA (dispozitiv pentru reducerea spasticității instalată în urma afecțiunilor de sistem nervos central) a fost un proiect complex și multidisciplinar, care a necesitat contribuții semnificative în diverse domenii, de la proiectare mecanică și electronică, până la programare software și testare practică. Pe parcursul acestui proiect, am adus o serie de contribuții esențiale care au fost critice pentru succesul final al dispozitivului. Aceste contribuții nu doar că au permis realizarea unui prototip funcțional, ci au asigurat și o soluție inovatoare și eficientă pentru reducerea spasticității și îmbunătățirea funcției motorii la pacienții afectați. În cele ce urmează, voi detalia aceste contribuții pentru a ilustra amploarea și profunzimea implicării mele în acest proiect:

1. Prezentarea conceptului și proiectarea inițială.

2. **Proiectarea mecanică, realizarea structurii și integrarea acționării.**
3. **Proiectarea, dezvoltarea (inclusiv interfațare și comunicație), integrarea și testarea componentelor electronice de control. Optimizare iterativă.**
4. **Testare și validare clinică:** elaborarea documentației de testare și prezentare către utilizatori; obținerea avizelor comisiei de etică; optimizare pentru utilizator; coordonare experimente; prezentare rezultate, cu accent pe scalabilitate și extensibilitate.

7.2. Contribuțiile la testarea clinică a sistemelor

Testarea clinică a sistemelor inovatoare MANUTEX, GFTSN și MESPA a reprezentat o etapă esențială în evaluarea și validarea acestora pentru utilizarea în recuperarea pacienților cu afecțiuni neurologice și neuromotorii. Am colaborat cu doamna Piseru Teodora pentru testarea sistemelor MANUTEX și GFTSN, îmbunătățirea în mod iterativ a acestora, iar în paralel am coordonat individual testarea sistemului MESPA. Această abordare a asigurat respectarea tuturor protocoalelor clinice și evaluarea riguroasă a dispozitivelor în condiții reale de utilizare. Eforturile noastre au fost susținute de parteneriatul strategic dintre Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași și Spitalul Clinic de Recuperare, finanțat prin grantul 25PTE/2020.

7.2.1. Contribuțiile la testarea sistemelor MANUTEX și GFTSN

Testarea clinică a sistemelor MANUTEX și GFTSN a fost realizată în colaborare cu doamna fiziokinetoterapeut specialist Piseru Teodora. Amândoi am contribuit semnificativ la toate aspectele implicate în această etapă, având responsabilități distincte pentru a ne asigura că fiecare aspect al testării a fost acoperit integral.

1. Coordonarea și organizarea Studiului Clinic

- Planificarea și organizarea etapei inițiale a testării.
- Obținerea consimțământului informat de la participanți.

2. Evaluarea Inițială

- Prezentarea sistemelor MANUTEX și GFTSN echipelor medicale din secțiile de Recuperare Clinică Neurologie și Recuperare Clinică Neuromotorie.
- Identificarea poziției optime a electrozilor și determinarea parametrilor curentului de stimulare pentru MANUTEX.

3. Testarea pe Voluntari Sănătoși

- Evaluarea componentelor de stimulare electrică funcțională și de exoschelet pentru MANUTEX.

4. Testarea pe Pacienți

- Monitorizarea sesiunilor de terapie și ajustarea parametrilor în funcție de nevoile pacienților.

5. Analiza și Interpretarea Rezultatelor

- Analiza și îmbunătățirea tehnică iterativă a sistemelor testate.
- Prelucrarea datelor și interpretarea rezultatelor obținute din testarea sistemelor.

- Analiza generală a îmbunătățirilor obținute de fiecare pacient după sesiunile cu dispozitivele testate.
- Contribuția la redactarea concluziilor privind eficiența și siguranța sistemelor MANUTEX și GFTSN.
- Publicarea rezultatelor în cadrul conferințelor de profil.

7.2.2. Contribuțiile la testarea sistemului MESPA

În cadrul proiectului propus, am realizat singur toate activitățile implicate în această etapă.

1. Coordonarea Studiului Clinic

- Planificarea și organizarea testării sistemului MESPA.
- Selectarea și recrutarea pacienților conform criteriilor de includere și excludere.
- Obținerea consimțământului informat de la participanți.

2. Evaluarea Sistemului

- Prezentarea sistemului MESPA echipelor medicale și colectarea feedback-ului.
- Implementarea protocoalelor de testare și ajustarea parametrilor sistemului în funcție de nevoile identificate.

3. Testarea pe Pacienți

- Realizarea sesiunilor de terapie cu sistemul MESPA.
- Monitorizarea pacienților și ajustarea parametrilor sistemului în funcție de evoluția acestora.
- Colectarea datelor privind eficiența terapiei și eventualele efecte adverse.

4. Analiza și Interpretarea Rezultatelor, și îmbunătățirea tehnică iterativă

- Îmbunătățirea tehnică iterativă;
- Prelucrarea și analiza datelor colectate în timpul testării.
- Evaluarea impactului sistemului MESPA asupra recuperării funcțiilor motorii la pacienți.
- Redactarea rapoartelor de evaluare și a concluziilor privind eficiența și siguranța sistemului MESPA.
- Publicarea rezultatelor în cadrul manifestărilor științifice.

Aceste contribuții au fost esențiale pentru testarea și validarea sistemelor inovatoare MANUTEX, GFTSN și MESPA, asigurându-se că acestea îndeplinesc standardele necesare pentru a fi utilizate eficient în recuperarea clinică a pacienților cu afecțiuni neurologice și neuromotorii. Parteneriatul și colaborarea cu doamna PISERU Teodora au fost cruciale pentru succesul testării sistemelor MANUTEX și GFTSN, în timp ce testarea sistemului MESPA a beneficiat de o abordare individuală riguroasă.

7.3. Valorificarea rezultatelor

Pe parcursul stagiului de doctorat, rezultatele cercetărilor desfășurate au fost diseminate prin publicarea și prezentarea de articole în cadrul unor conferințe științifice. În plus, am adus contribuții semnificative la dezvoltarea și testarea unor echipamente inovatoare destinate recuperării persoanelor cu dizabilități neuromotorii.

1. **Piseru, E. A.**, Piseru, T., Ignat, B. E., Grosu, C., Alexa, D., Cretu, R. A. (2023, June). Poststroke Spasticity: Pathophysiology and Management An Accurate Evaluation of Spasticity. *Balneo and PRM Research Journal*.2024;15(2):713 Full Text DOI 10.12680/balneo.2024.713
2. **Piseru, E. A.**, Piseru, T., Poboroniuc, M. S. Development and Evaluation of MESPA: A Mechatronic Device for Reducing Post-Stroke Spasticity and Enhancing Motor Function Recovery. *Buletinul Institutului Politehnic din Iași*, acceptat, în curs de publicare (număr lucrare 1119).
3. **Piseru, E. A.**, Piseru, T., Miron, A. R., Poboroniuc, M. S. Fostering Upper Limb Recovery through Interdisciplinary Collaboration: A Review of Robotic Devices, Functional Electrical Stimulation, and Mirror Therapy. 13th IEEE International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPEI 2024; <https://www.epe.tuiasi.ro/>) 17-19 Octombrie 2024, Iași, Romania. Acceptat, în curs de publicare.
4. **Piseru, E. A.**, Piseru, T., Poboroniuc, M. S., Ionascu, R., Roman, A. I., Ignat, B., & Grosu, C. (2022, November). Clinical Evaluation of a New Mechatronic Glove for Hand Rehabilitation. In *2022 E-Health and Bioengineering Conference (EHB)* (pp. 1-4). IEEE.
5. Piseru, T., **Piseru, E. A.**, Roman, A. I., Ionascu, R., Poboroniuc, M. S., & Miron, A. R. (2024, May). Revolutionizing upper limb motor control restoration: A novel EMG-based feedback system for individuals with neurological diseases. In *2024 International Conference on Development and Application Systems (DAS)* (pp. 160-167). IEEE.
6. Piseru, T., **Piseru, E. A.**, Roman, A. I., Ionascu, R., Poboroniuc, M. S., & Miron, A. R. (2024, May). Advancing Towards Clinical Validation of an Innovative System for Restoring Upper Limb Control in Individuals with Neurological Disorders. In *2024 International Conference on Development and Application Systems (DAS)* (pp. 168-175). IEEE.
7. Sardaru, D. P., Onu, I., Luca, C., Zaharia-Kezdi, D., Matei, D., Druguș, D., **Piseru, E. A.**, Mușat, C. L. (2023). Specialized Manual Therapy Techniques which Can Improve Neuromotor Outcome in Patients with Foot-Drop Syndrome. *BRAIN. Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*, 14(3), 330-342.
8. Poboroniuc, M. S., Roman, A. I., Ionașcu, R., Piseru, T., **Piseru, E. A.**, Irimia, D. C., Baciuc, A., Mitocaru, A., Ionescu, Ș. A. (2023, June). Hybrid FES&Mechatronic Devices Aiming to Assess and Support Rehabilitation in Stroke People. In 2023 The XXVII International Conference "INVENTICA 2023. Science of creativity". <https://doi.org/10.2478/9788367405201-009>
9. Roman, A. I., Poboroniuc, M. S., Irimia, D. C., Piseru, T., & **Piseru, E. A.** (2022, November). Clinical Tests of a New Device Aiming to Assess and Rehabilitate the Hand in Stroke People. In *2022 E-Health and Bioengineering Conference (EHB)* (pp. 1-4). IEEE.
10. Ionașcu, R., Poboroniuc, M. S., Roman, A. I., Mitocaru, A., Piseru, T., **Piseru, E. A.**, & Irimia, D. C. (2022, November). Hybrid FES & Mechatronic Hand Control Method for Upper Limb Rehabilitation Systems. In *2022 E-Health and Bioengineering Conference (EHB)* (pp. 1-4). IEEE.
11. Poboroniuc, M. S., Irimia, D. C., Baciuc, A., Bondar, T., Nițică, I. A., & **Piseru, A. E.** (2018, October). A fuzzy controller to support FES-based sitting-down in paraplegia. In *2018 International Conference and Exposition on Electrical And Power Engineering (EPE)* (pp. 0523-0528). IEEE.

Premii

1. **Cupa For the best project**, “A mechatronic system for spasticity reduction-Clinical trial results and user feedback”; Piseru E. A., Piseru T., Ionascu R., Miron A., Poboroniuc Marian. The VIII-th International Fair of Innovation and Creative Education for Youth (ICE-USV) - Universitatea Ștefan cel Mare din Suceava, 31 Mai – 02 Iunie, 2024.
2. **Cupa Best Engineering Inovation**, “Hand rehabilitation and evaluation system”; Roaman A. I., Poboroniuc M. S., Piseru T., Piseru E. A. The VIII-th International Fair of Innovation and Creative Education for Youth (ICE-USV)- Universitatea Ștefan cel Mare din Suceava, 7-9 Iulie, 2023.
3. **Medalie de Aur**, “A mechatronic system for spasticity reduction- clinical trial results and user feedback”; Piseru E. A., Piseru T., Ionascu R., Roman A. I., Miron Alina- Roxana, Poboroniuc M. S. The VIII-th International Fair of Innovation and Creative Education for Youth (ICE-USV) - Universitatea Ștefan cel Mare din Suceava, 31 Mai – 02 Iunie, 2024.
4. **Medalie de Aur**, “Innovative system for motor control development in individuals with paralysis”; Piseru T., Piseru E. A., Roman A. I., Ionascu R., Miron A. R., Poboroniuc M. S. The VIII-th International Fair of Innovation and Creative Education for Youth (ICE-USV) - Universitatea Ștefan cel Mare din Suceava, 31 Mai – 02 Iunie, 2024.
5. **Medalie de Aur**, “Mechatronic equipment for spasticity reduction (MESPA)”; Piseru E. A., Piseru T., Poboroniuc M. S. The 28 th International Exhibition of Inventions “INVENTICA 2024” Iasi, Romania- 3 iulie - 5 iulie 2024.
6. **Medalie de Aur**, “Enhancing hand recovery through MANUTEX EMG: a mechatronic approach ”; Piseru T., Piseru E. A., Poboroniuc M. S. The 28 th International Exhibition of Inventions “INVENTICA 2024” Iasi, Romania- 3 iulie - 5 iulie 2024.
7. **Medalie de Aur**, “Hand rehabilitation and evaluation system”; Roman A. I., Poboroniuc M. S. Piseru T., Piseru E. A. The VII-th International Fair of Innovation and Creative Education for Youth (ICE-USV) - Universitatea Ștefan cel Mare din Suceava, 7-9 Iulie 2023
8. **Medalie de Aur**, “Clinically tested mechatronic devices for hand rehabilitation”; Poboroniuc M. S. Ionascu R., Roman A. I., Piseru E. A., Piseru T., Mitocaru A., Baciuc A., Irimia D. The XVI-th European Exhibition of Creativity and Innovation - EUROINVENT”, 13 Mai 2023.
9. **Locul 2**, “Clinical tests of a new device aiming to assess and rehabilitate the hand in stroke people”; Roman A. I., Poboroniuc M. S., Irimia D., Piseru T., Piseru E. A. Ediția a X-a „IEEE International Conference on E-Health and Bioengineering” – UMF "Grigore T. Popa" din Iași, 17-18 Noiembrie, 2022.

7.4. Direcții viitoare de cercetare

Pentru a continua îmbunătățirea și extinderea capacităților dispozitivului MESPA, există mai multe direcții viitoare de cercetare care pot fi explorate. Aceste direcții nu doar că pot optimiza funcționalitatea dispozitivului, dar pot deschide și noi orizonturi în tratamentul spasticității și paraliziei. Iată o listă de direcții viitoare de cercetare:

1. **Optimizarea sistemului de acționare;**
2. **Îmbunătățirea interfeței utilizator;**
3. **Extinderea funcționalităților de telemedicină;**
4. **Adaptabilitate și personalizare;**
5. **Compatibilitate cu alte dispozitive medicale;**
6. **Îmbunătățirea portabilității și ergonomiei;**

7. **Extinderea aplicațiilor terapeutice;**
8. **Explorarea noilor materiale și tehnologii de fabricație;**
9. **Integrarea unor sisteme de stimulare neurală;**
10. **Îmbunătățirea autonomiei bateriei și eficienței energetice;**
11. **Evaluarea și validarea clinică extinsă;**
12. **Integrarea inteligenței artificiale;**
13. **Dezvoltarea unui ecosistem software complet;**
14. **Explorarea interacțiunii cu realitatea virtuală (VR).**

Aceste direcții viitoare de cercetare pot conduce la inovații semnificative în domeniul dispozitivelor medicale și al terapiei de reabilitare, asigurând astfel îmbunătățiri continue și creșterea calității vieții pacienților care utilizează dispozitivul MESPA.

