



UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN BUCUREȘTI

Facultatea de Inginerie Mecanică și Mecatronică
Departamentul de Mecatronică și Mecanică de Precizie

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

Cercetări privind sistemele mecatronice inteligente utilizate în antrenamentul de performanță la Arte Marțiale, pentru corectarea biomecanicii mișcărilor și reducerea riscului de accidentare în cadrul antrenamentelor

Research on intelligent mechatronic systems used in Martial Arts performance training, to correct the biomechanics of motion and reduce the risk of injury during training

Autor:
Ing. Cristian Radu Badea

Conducători de doctorat în cotutelă:
Prof.dr.ing. Octavian Donțu
Prof.dr.ing.Dr.h.c. Gheorghe I. Gheorghe

COMISIA DE DOCTORAT

Președinte	Prof.dr.ing.Radu CHIRIAC	de la	Universitatea Politehnica din București
Conducători de doctorat în cotutelă	Prof.dr.ing.Octavian DONȚU	de la	Universitatea Politehnica din București
	Prof.dr.ing.Dr.h.c.Gheorghe I. GHEORGHE	de la	Universitatea "Valahia" din Târgoviște
Referent	Prof.dr.ing.Cătălin ALEXANDRU	de la	Universitatea Transilvania din Brașov
Referent	Prof.dr.Cristian Ioan STOICA	de la	Universitatea de Medicină și Farmacie „Carol Davila”
Referent	Conf.dr.ing.Alina Rodica SPÂNU	de la	Universitatea Politehnica din București

București
2021

CUPRINS

PREFAȚĂ	Error! Bookmark not defined.
Lista abrevierilor	Error! Bookmark not defined.
INTRODUCERE	Error! Bookmark not defined.
CAPITOLUL 1. SISTEME MECATRONICE UTILIZATE ÎN CADRUL ANTRENAMENTELOR DE PERFORMANȚĂ ÎN ARTELE MARȚIALE	Error! Bookmark not defined.
1.1. Categoriile de sisteme mecatronice utilizate în cadrul antrenamentelor de performanță	Error! Bookmark not defined.
1.2. Sisteme mecatronice de analiză a mișcării	Error! Bookmark not defined.
<i>1.2.1. Sistemele optice utilizate în procesul de analiză a mișcării..</i>	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
<i>1.2.2. Sisteme mecano-electronice utilizate în procesul de analiză a mișcării</i>	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
<i>1.2.3. Sisteme magnetice utilizate în procesul de analiză a mișcării</i>	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
<i>1.2.4. Sisteme acustice utilizate în procesul de analiză a mișcării.</i>	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
<i>1.2.5. Sisteme inerțiale utilizate în procesul de analiză a mișcării.</i>	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
CAPITOLUL 2. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND SISTEMELE INERȚIALE DE ANALIZĂ A MIȘCĂRII	Error! Bookmark not defined.
2.1. Obiectivul cercetării	Error! Bookmark not defined.
2.2. Elementele care au stat la baza alegerii sistemului de analiză a mișcării Xsens MVN, pentru realizarea acestei cercetări	Error! Bookmark not defined.
2.3. Arhitectura sistemului inerțial de analiză a mișcării, Xsens MVN, utilizat în cadrul cercetărilor întreprinse	Error! Bookmark not defined.
<i>2.3.1 Subansamblul hardware</i>	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
<i>2.3.2. Subansamblul software, utilizat în cadrul studiului - MVN Analyze</i>	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
2.4. Analizele realizate și rezultatele acestora	Error! Bookmark not defined.
<i>2.4.1. Clasificarea analizelor realizate cu ajutorul sistemului inerțial de analiză a mișcării Xsens MVN</i>	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
<i>2.4.2. Descrierea detaliată a analizelor. Rezultate obținute</i>	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
CAPITOLUL 3. PROIECTAREA ÎN CONCEPȚIE ORIGINALĂ A UNUI SISTEM DE CALBRARE (SC), UTILIZAT PENTRU REALIZAREA ȘI MENȚINEREA POSTURII ȘI A DEPLASĂRII, IMPUSE ÎN CADRUL SESIUNILOR DE ANALIZĂ A MIȘCĂRII, REALIZATE CU AJUTORUL SISTEMELOR MECATRONICE INERȚIALE	Error! Bookmark not defined.

3.1. Cerințele la proiectarea sistemului de calibrare (SC).... Error! Bookmark not defined.

3.2. Descrierea sistemului de calibrare proiectat cu scopul de a permite realizarea și menținerea posturii și a deplasării, impuse în cadrul sesiunilor de analiză a mișcării, realizate cu ajutorul sistemelor mecatronice inerțiale Error! Bookmark not defined.

3.3. Alegerea materialelor din care vor fi realizate elementele constitutive ale sistemului de calibrare Error! Bookmark not defined.

CAPITOLUL 4. PROIECTAREA ÎN CONCEPȚIE ORIGINALĂ A UNUI SISTEM MECATRONIC INTELIGENT UTILIZAT ÎN ANTRENAMENTUL DE PERFORMANȚĂ LA ARTE MARȚIALE, PENTRU DEZVOLTAREA CONTROLULUI NEUROMUSCULAR/ECHILIBRULUI DINAMIC ȘI STATIC, A FORȚEI ȘI ANDURANȚEI MEMBRELOR INFERIOARE ȘI A MOBILITĂȚII ARTICULAȚIILOR COXO-FEMURALE, ALE SPORTIVILOR.... Error! Bookmark not defined.

4.1. Cerințele care trebuie îndeplinite de către sistemul care urmează a fi proiectat Error! Bookmark not defined.

4.2. Descrierea sistemului de manipulare (SM), proiectat pentru a fi utilizat în antrenamentul de performanță la Arte Marțiale, pentru dezvoltarea controlului neuromuscular/echilibrului dinamic și static, a forței și anduranței membrelor inferioare și a mobilității articulațiilor coxo-femorale, ale sportivilor.. Error! Bookmark not defined.

4.2.1. Arhitectura sistemului de manipulare proiectat în scopul utilizării acestuia în cadrul antrenamentelor de performanță la Arte Marțiale, pentru dezvoltarea controlului neuromuscular/echilibrului dinamic și static, a forței și anduranței membrelor inferioare și a mobilității articulațiilor coxo-femorale, ale sportivilor Error! Bookmark not defined.

4.2.2. Descrierea structurii mecanice a sistemului de manipulare proiectat în scopul utilizării acestuia în cadrul antrenamentelor de performanță la Arte Marțiale, pentru dezvoltarea controlului neuromuscular/echilibrului dinamic și static, a forței și anduranței membrelor inferioare și a mobilității articulațiilor coxo-femorale, ale sportivilor..... Error! Bookmark not defined.

4.2.3. Descrierea structurii electronice a sistemului de manipulare proiectat în scopul utilizării acestuia în cadrul antrenamentelor de performanță la Arte Marțiale, pentru dezvoltarea controlului neuromuscular/echilibrului dinamic și static, a forței și anduranței membrelor inferioare și a mobilității articulațiilor coxo-femorale, ale sportivilor..... Error! Bookmark not defined.

4.3. Ciclograma de mișcare Error! Bookmark not defined.

CAPITOLUL 5. PROIECTAREA ÎN CONCEPȚIE ORIGINALĂ A UNUI SISTEM MECATRONIC INTELIGENT UTILIZAT ÎN ANTRENAMENTUL DE PERFORMANȚĂ LA ARTE MARȚIALE, PENTRU MONITORIZARE ÎN TIMP REAL ȘI AUTOCORECȚIE POSTURALĂ ACTIVĂ (SCPA) Error! Bookmark not defined.

5.1. Elemente care au stat la baza proiectării unui sistem mecatronic inteligent pentru monitorizare în timp real și autocorecție posturală activă (SCPA) . Error! Bookmark not defined.

5.2. Tipuri de echipamente utilizate pentru controlul postural. Avantaje și dezavantaje..... Error! Bookmark not defined.

5.3. Cerințe specifice domeniului sportiv, care trebuie luate în considerare, în proiectarea SCPA..... Error! Bookmark not defined.

5.4. Elemente de calcul care stau la baza proiectării SCPA Error! Bookmark not defined.

5.4.1. Punerea în evidență a principiului de funcționare al SCPA, pentru cazul modificării posturii coloanei vertebrale și pentru cel al poziției umerilor, în raport cu postura fiziologică..... Error! Bookmark not defined.

5.4.2. Cerințe la proiectarea SCPA..... Error! Bookmark not defined.

5.5. Proiectarea sistemului mecatronic destinat monitorizării în timp real și autocorecției posturale active (SCPA)..... Error! Bookmark not defined.

5.5.1. Arhitectura hardware a sistemului mecatronic pentru monitorizare în timp real și autocorecție posturală activă - SCPA Error! Bookmark not defined.

5.5.2 Subansamblul repoziționare al SCPA..... Error! Bookmark not defined.

CAPITOLUL 6. REZULTATE ALE CERCETĂRILOR EXPERIMENTALE PRIVIND FUNCȚIILE SI MODALITĂȚILE DE UTILIZARE ALE SISTEMELOR MECATRONICE PROIECTATE SI REALIZATE Error! Bookmark not defined.

6.1. Rezultate ale cercetărilor experimentale privind funcțiile și modalitățile de utilizare ale sistemului de calibrare, proiectat și realizat în scopul obținerii și menținerii posturii și a deplasării, impuse în cadrul sesiunilor de analiză a mișcărilor, realizate cu ajutorul sistemelor mecatronice inerțiale Error! Bookmark not defined.

6.1.1. Caracteristicile și funcțiile sistemului de calibrare proiectat și realizat Error! Bookmark not defined.

6.1.2. Utilizarea sistemului de calibrare pentru realizarea și menținerea posturii și a deplasării, impuse în cadrul sesiunilor de analiză a mișcării, realizate cu ajutorul sistemelor mecatronice inerțiale..... Error! Bookmark not defined.

6.1.3. Utilizarea sistemului de calibrare pentru poziționarea corectă și/sau verificarea simetriei pozițiilor senzorilor sistemului inerțial de analiză a mișcării, în raport cu planul sagital al utilizatorului Error! Bookmark not defined.

6.1.4. Utilizarea sistemului de calibrare pentru verificarea repetabilității pozițiilor elementelor anatomice estimate de către sistemele mecatronice inerțiale de analiză a mișcării..... Error! Bookmark not defined.

6.1.5. Rezultate ale cercetărilor experimentale privind validarea funcționării sistemului de calibrare, proiectat și realizat în scopul obținerii și menținerii posturii și a deplasării, impuse în cadrul sesiunilor de analiză a mișcării, realizate cu ajutorul sistemelor mecatronice inerțiale..... Error! Bookmark not defined.

6.1.6. Concluziile rezultate în urma testării sistemului de calibrare..... Error! Bookmark not defined.

6.2. Rezultate ale cercetărilor experimentale privind funcțiile și modalitățile de utilizare ale sistemului de manipulare, proiectat și realizat pentru a permite dezvoltarea controlului neuromuscular/echilibrului dinamic și static, a forței și anduranței membrelor inferioare și a mobilității articulațiilor coxo-femorale, ale sportivilor Error! Bookmark not defined.

6.2.1. Caracteristicile și funcțiile sistemului de manipulare proiectat și realizat...	Error! Bookmark not defined.
6.2.2. Utilizarea sistemului de manipulare pentru dezvoltarea controlului neuromuscular/echilibrului dinamic, a forței și anduranței membrelor inferioare, ale sportivilor.....	Error! Bookmark not defined.
6.2.3. Utilizarea sistemului de manipulare pentru dezvoltarea controlului neuromuscular/echilibrului static, al membrelor inferioare, ale sportivilor.....	Error! Bookmark not defined.
6.2.4. Utilizarea sistemului de manipulare pentru dezvoltarea mobilității articulațiilor coxo-femorale, ale sportivilor.....	Error! Bookmark not defined.
6.2.5. Rezultate ale cercetărilor experimentale privind validarea funcționării sistemului de manipulare, proiectat și realizat pentru a permite dezvoltarea controlului neuromuscular/echilibrului dinamic și static, a forței și anduranței membrelor inferioare și a mobilității articulațiilor coxo-femorale, ale sportivilor.	Error! Bookmark not defined.
6.2.6. Concluziile rezultate în urma testării prototipului sistemului de manipulare realizat	Error! Bookmark not defined.
6.3. Rezultate ale cercetărilor experimentale privind funcțiile și modalitățile de utilizare ale sistemului mecatronic, proiectat și realizat în scopul monitorizării în timp real și autocorecției posturale active (SCPA)	Error! Bookmark not defined.
6.3.1. Caracteristicile și funcțiile SCPA proiectat și realizat.....	Error! Bookmark not defined.
6.3.2. Funcționarea și modul de utilizare al SCPA	Error! Bookmark not defined.
6.3.3. Rezultate ale cercetărilor experimentale privind validarea funcționării sistemului de monitorizare în timp real și autocorecție posturală activă (SCPA)..	Error! Bookmark not defined.
6.3.4. Concluziile rezultate în urma testării prototipului SCPA.....	Error! Bookmark not defined.
CONCLUZII.....	Error! Bookmark not defined.
C.1. Concluzii generale ale cercetărilor întreprinse	Error! Bookmark not defined.
C.2. Contribuții originale	Error! Bookmark not defined.
C.3. Perspective de dezvoltare a cercetărilor privind sistemele mecatronice inteligente utilizate în antrenamentul de performanță la Arte Marțiale, pentru corectarea biomecanicii mișcărilor și reducerea riscului de accidentare în cadrul antrenamentelor.....	Error! Bookmark not defined.
Bibliografie.....	Error! Bookmark not defined.
ANEXE.....	Error! Bookmark not defined.
A.1. Lista lucrărilor publicate	Error! Bookmark not defined.
A.2. Lista cererilor de brevet de invenție depuse și a rapoartelor științifice elaborate	Error! Bookmark not defined.

A.3. Rezultate ale cercetărilor privind sistemele inerțiale de analiză a mișcării, care au furnizat informații legate de corectitudinea de realizare a mișcărilor de către subiectul uman supus analizei Error! Bookmark not defined.

A.3.1. Rezultate ale cercetărilor privind corectitudinea de realizare a exercițiilor/posturilor impuse Error! Bookmark not defined.

A.3.3. Rezultate ale cercetărilor privind echilibrul dinamic și simetria controlului neuromuscular al subiectului uman supus analizei, în timpul realizării exercițiilor/posturilor impuse Error! Bookmark not defined.

A.3.4. Rezultate ale cercetărilor privind sistemele de analiză inerțială a mișcării, obținute în mod indirect, ca urmare a analizelor privind biomecanica mișcării ... Error! Bookmark not defined.

A.4. Caracteristici ale benzii dublu-adezive MED 6369R Double-Coated Film, produsă de firma Vancive, destinată domeniului medical Error! Bookmark not defined.

A.5. Principalele capabilități ale microcontrolerului ARDUINO-NANO, utilizat în construcția modului mecatronic al SCPA Error! Bookmark not defined.

INTRODUCERE

Termenul „*mecatronică*” apare pentru prima oară în Japonia, în anul 1969, ca marcă înregistrată a firmei *Yaskawa Electric* și reprezintă o combinație a abrevierilor termenilor „*mecanică*” și „*electronică*”. În zilele noastre „*mecatronică*” reprezintă un concept care se referă la interdependența și coeziunea mecanicii, a electronicii și a informaticii, necesare realizării unor sisteme mixte, care conțin atât elemente mecanice cât și elemente electrice interconectate prin intermediul unui software.

Sistemele mecatronice inteligente, reprezintă structuri mecano-electronice, care pot reacționa și interacționa cu mediul înconjurător independent de operatorul uman, pe baza unui algoritm de decizie prestabilit prin intermediul unui software.

În ceea ce privește sistemele mecatronice inteligente utilizate în antrenamentul de performanță la Arte Marțiale, istoricul acestora este relativ recent, fiind legat de sportul de performanță în general și adaptat specificului acestora.

Odată cu creșterea interesului în a obține performanțe sportive de top într-un timp cât mai scurt, cu eficiență crescută și cu implicarea unor riscuri de sănătate minime a avut ca rezultat o dezvoltare uriașă a cercetării științifice în domeniul sportului de performanță.

Artele marțiale reprezintă la ora actuală, un conglomerat de sisteme de dezvoltare fizico-psihică, orientate sau nu către latura competițională și având propriile reguli și precepte. Denumirea de „*Arte Marțiale*” se presupune, a provenii din limba latină, având sensul de „*artele lui Marte*”, unde Marte era considerat zeul roman al războiului [1] [2] [3] [4] [5] [6][7].

Deși artele marțiale au o existență milenară, tehnicile utilizate în cadrul acestora au fost dezvoltate și optimizate, de cele mai multe ori, pornind de la experiențele personale ale diverșilor maeștri implicați, pe baza observațiilor acestora, dar fără un fundament biomecanic dovedit științific.

Odată cu acceptarea organizării Campionatelor Mondiale, la diferitele stiluri de Arte Marțiale, apare din ce în ce mai des necesitatea analizării tehnicilor de luptă utilizate, atât pentru creșterea eficienței în luptă, cât și pentru protejarea sportivilor implicați. Au fost preluate, din sporturile care au elemente în comun cu Artele Marțiale și adaptate, acele elemente comune cu artele marțiale și anume: modalitățile de dezvoltare a calităților motrice, precum și metodele de optimizare a tehnicilor de lovire cu pumnul și a celor de ridicare și aruncare a adversarului.

Elementele ce au un impact deosebit asupra performanței sportive sunt următoarele:

- corectitudinea actului de învățare a mișcărilor ce compun tehnicile utilizate în competiții și nu numai, precum și calitatea execuției tehnicilor specifice;
- nivelul de dezvoltare al calităților motrice (viteza, forța, îndemânare și mobilitate) și deprinderilor motrice (coordonare, precizie, cursivitate, ușurință), priceperilor motrice (elemente la care fiecare individ în parte, excelează nativ) ale sportivului;
- alegerea corectă a metodelor, a mijloacelor, a momentelor (perioadelor) și a lungimii intervalelor de timp necesare recuperării post-efort a sportivului implicat. Faptul acesta este cu atât mai important în cazul sportivilor participanți la competițiile de luptă, cum sunt cele din Arte Marțiale [21] [22][23] [24][25], lupte și box [26], întrucât aceștia nu se confruntă doar cu problemele legate de depășirea propriilor limite, ci și cu cele datorate interacțiunii directe cu un adversar.

Pornind de la cele menționate anterior se impune realizarea și implementarea de metode și mijloace, care să permită evaluarea obiectivă a calității mișcărilor de bază care intra în alcătuirea tehnicilor specifice și a capacității de realizare a acestora într-un mod corect din punct de vedere biomecanic, corecția timpurie a acestor mișcări de bază, atât în timpul antrenamentelor, cât și pe cât posibil în afara acestora, dezvoltarea calităților, a deprinderilor și a priceperilor motrice ale sportivului în cauză, pentru a putea obține performanță sportivă fără a avea un impact negativ asupra sănătății acestuia.

SINTEZA CONȚINUTULUI TEZEI DE DOCTORAT

Teza de doctorat debutează cu o prefață, urmată de o introducere în domeniul de cercetare abordat în cadrul acesteia și este structurată în șase capitole, așa cum se prezintă în cuprins. La finalul acestora, sunt prezentate concluziile cercetărilor întreprinse, bibliografia și anexele. Teza numără în total 311 pagini și conține 189 referințe bibliografice. O parte din cercetările dezvoltate în teză au fost diseminate prin publicarea de articole științifice, conținând rezultate ale cercetărilor, în reviste de specialitate, prin participarea la manifestări științifice, precum și prin intermediul unui număr de cereri de brevet.

În cadrul Capitolului 1, intitulat „**Sisteme mecatronice utilizate în cadrul antrenamentelor de performanță în Artele Marțiale**”, sunt prezentate principalele preocupări legate de pregătirea sportivilor de performanță la Arte Marțiale și de asemenea, principalele categorii de sisteme mecatronice utilizate în cadrul antrenamentelor de performanță, avantajele și dezavantajele acestora. În ceea ce privește sisteme mecatronice menționate, accentul este pus pe prezentarea sistemelor de analiză a mișcării, atât în ordine cronologică cât și în ordinea importanței din punctul de vedere al subiectului abordat în cadrul lucrării curente și anume: sistemele optice de analiză a mișcării bazate pe utilizarea camerelor video de mare viteză [28], sistemele mecano-electronice [34], sistemele magnetice [35], sistemele acustice și sistemele inerțiale (vezi fig.1.11).

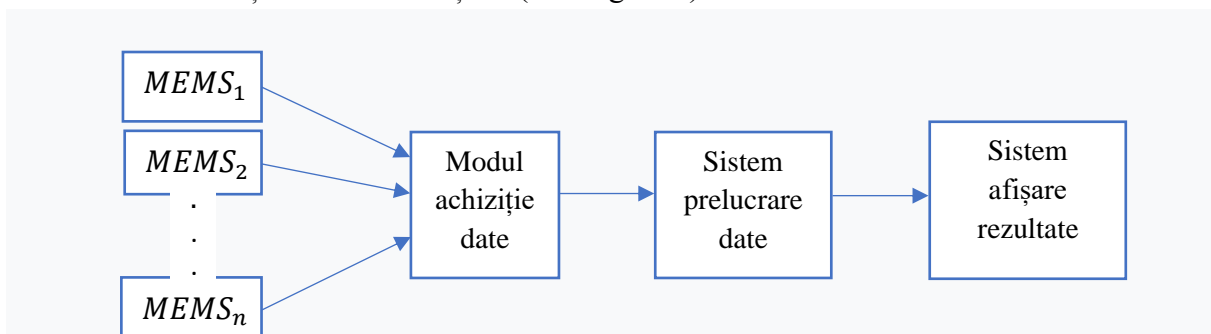


Fig.1.11. Schema bloc a unui sistem mecatronic inerțial de analiză a mișcării care utilizează MEMS-uri

În cadrul Capitolului 2, intitulat „**Cercetări experimentale privind sistemele inerțiale de analiză a mișcării**”, sunt prezentate analizele realizate cu ajutorul sistemului inerțial Xsens MVN [37], în scopul testării facilităților și limitărilor acestui sistem, în așa fel încât pornind de la aspectele constatate practic, să se poată trece la proiectarea unui sistem performant, care să permită nu doar analiza mișcărilor ci și corecția, pe cât se poate în timp real, a acestora.

Analizele realizate au fost de natură calitativă și au fost împărțite în două categorii, în funcție de tipul informațiilor obținute:

➤ Prima categorie este cea a analizelor de natură biomecanică care au furnizat informații legate de corectitudinea de realizare a mișcărilor, nivelul echilibrului static și dinamic, precum și nivelul simetriei/asimetriei controlului neuromuscular, incluzând acolo unde este cazul și corectitudinea posturală. Aceste informații au fost denumite *directe*, întrucât reprezintă rezultatul principal al unei analize a mișcărilor.

În acest sens, pentru a putea obține informații cât mai clare și precise, s-a decis că analizele să fie realizate pe exerciții simple, care stau la baza tehnicilor complexe din cadrul antrenamentelor de performanță la Arte Marțiale.

Astfel, analizele din cadrul acestei categorii, s-a conturat în jurul următoarelor tipuri de exerciții/posturi:

a) Exerciții/posturi, în cadrul cărora atenția a fost îndreptată asupra corectitudinii de realizare a acestora (vezi fig.2.1). Corectitudinea a fost judecată, în funcție de specificitatea

fiecărui exercițiu, pe baza simetriei pozițiilor/unghiurilor segmentelor/articulațiilor care compun cele două membre superioare/inferioare în raport cu planul sagital al subiectului uman supus analizei.

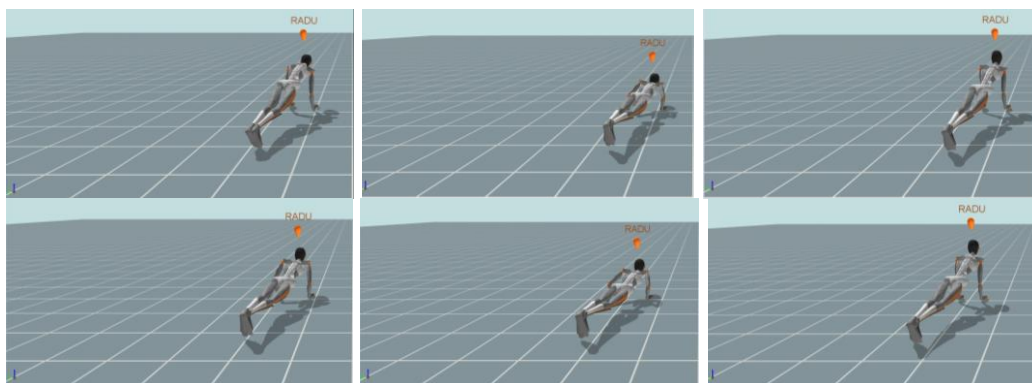


Fig.2.1. Imagine ce conține cadre de mișcare reprezentative pentru sesiunea de analiză a exercițiului „Flotări”

b) Exerciții/posturi, în cadrul cărora atenția a fost îndreptată asupra echilibrului static în timpul realizării acestora (vezi fig.2.28), precum și asupra simetriei controlului neuromuscular, prin compararea modului în care acestea sunt realizate de către partea dreaptă a corpului, cu modul în care acestea sunt realizate de către partea stângă a corpului.

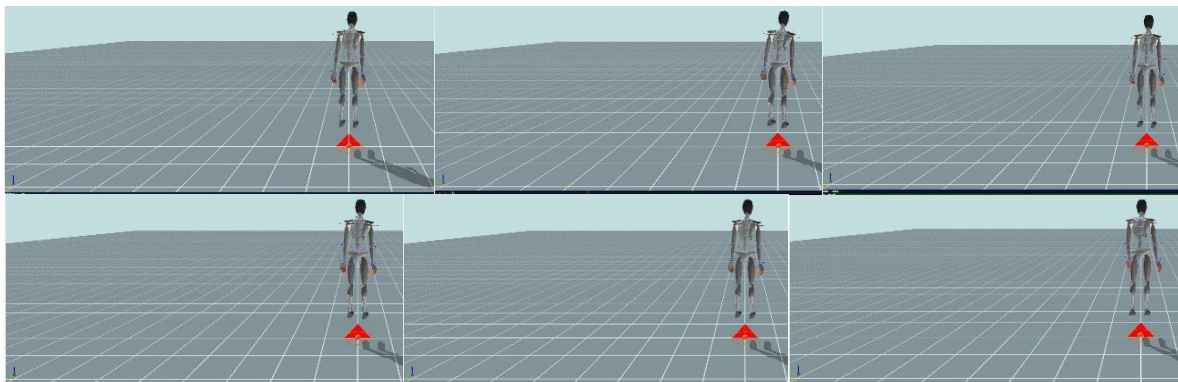


Fig.2.28. Imagine ce conține cadre de mișcare reprezentative pentru sesiunea de analiză a exercițiului „Ortostatism pe discul de echilibru”

c) Exerciții/posturi, în cadrul cărora atenția a fost îndreptată asupra echilibrului dinamic în timpul realizării acestora (vezi fig.2.32), precum și asupra simetriei controlului neuromuscular, prin compararea modului în care acestea sunt realizate de către partea dreaptă a corpului, cu modul în care acestea sunt realizate de către partea stângă a corpului.

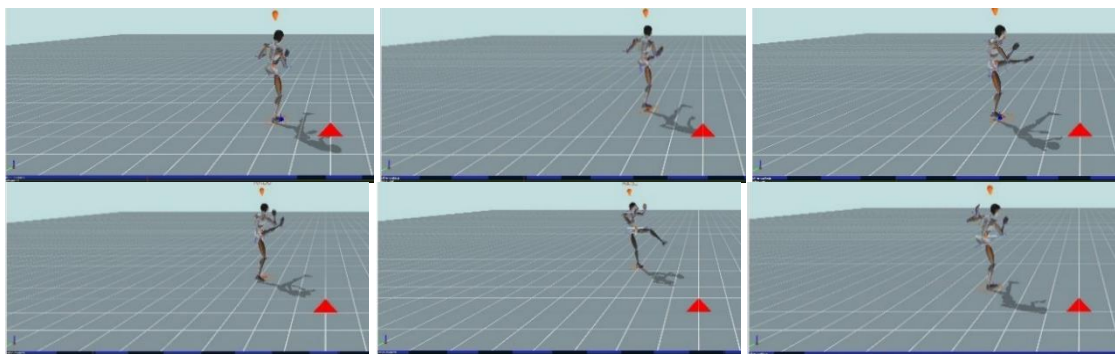


Fig.2.32. Imagine ce conține cadre de mișcare reprezentative pentru sesiunea de analiză a exercițiului „Deplasare într-un picior (dreptul), în direcția impusă prin manipularea de către o altă persoană, a piciorului stâng al subiectului supus analizei”

Concluziile finale ale analizelor care au furnizat informații directe - legate de corectitudinea de realizare a mișcărilor de către subiectul uman supus analizei:

- subiectul uman realizează mișcările din cadrul exercițiilor și respectiv posturile, relativ greșit, având tendința de a utiliza partea dreaptă a corpului, mai mult decât pe cea stânga. De asemenea s-a constatat faptul că acesta prezintă o tendință accentuată în a-și modifica postura în raport cu referința. Acest fapt denotă o asimetrie din punct de vedere a controlului neuromuscular între cele două părți ale corpului acestuia și poate contribui la apariția unei patologii posturale;

- subiectul uman prezintă un nivel mediu din punct de vedere al echilibrului static și a celui dinamic.

➤ Cea de-a doua categorie, este cea a analizelor de natură biomecanică (vezi fig.2.43), care au furnizat informații privind erorile generate de către sistemul Xsens MVN. Aceste informații au fost denumite *indirecte*, întrucât acestea derivă dintr-o analiză a mișcărilor.

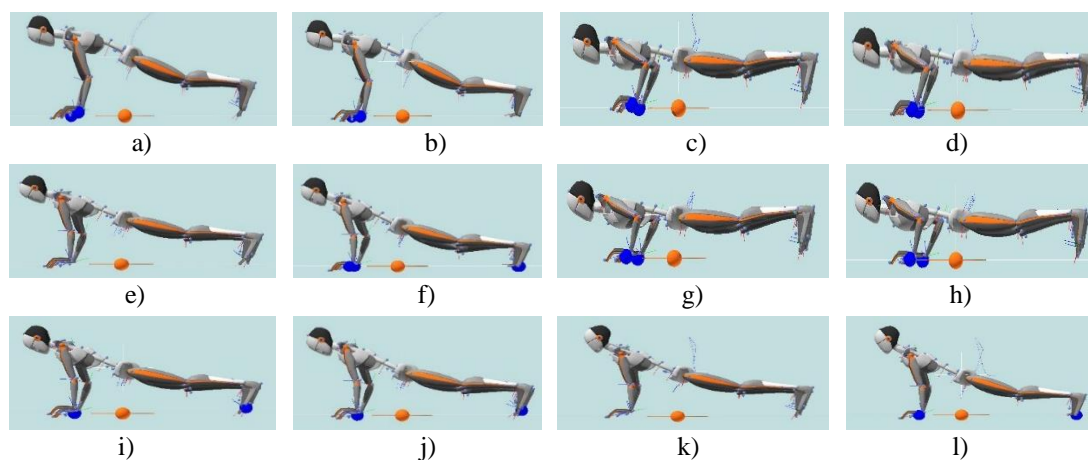


Fig.2.43. Reprezentări virtuale ale subiectului uman supus analizei, în planul sagital stâng, aflat în diverse momente de timp, în cadrul exercițiului „flotări” și având brațele întinse, sau flexate

În cadrul analizelor care s-au concentrat asupra erorilor generate de către sistemul Xsens MVN, s-au urmărit următoarele aspecte:

- apariția „drift-ului” pozițional;
- capacitatea sistemului, Xsens MVN, de a corecta eventualele erori de poziționare apărute, prin utilizarea funcției de reprocesare (sau postprocesare) *REPROCESS*;
- apariția erorilor generate de interacțiunea subiectului uman supus analizei cu mediul înconjurător (vezi fig.2.43), prin utilizarea, în cadrul analizelor, a celor patru scenarii de lucru, puse la dispoziție de către software-ul MVN Analyze.

Concluziile finale ale analizelor de mișcare, care au furnizat informații indirecte despre sistemul inerțial Xsens MVN, utilizat:

- sistemul în cauză prezintă atât o eroare de poziționare globală, cât și erori la nivelul MEMS-urilor amplasate pe labele picioarelor. De asemenea se poate observa transferul punctelor de contact, de la nivelul palmelor, la nivelul vârfurilor picioarelor și invers, pe toată durata exercițiului;

- analizând comparativ cadrele de mișcare prezentate anterior, se observă o „alunecare” a subiectului uman, în planul orizontal al imaginii, în sensul pozitiv al axei OY și doar pe direcția acestei axe;

- după apelarea funcției *REPROCESS* erorile scad, dar nu sunt eliminate complet, acestea reducându-se de la nivel de cm la nivel de mm.

În cadrul Capitolului 3, intitulat „Proiectarea în concepție originală a unui sistem de calibrare (SC), utilizat pentru realizarea și menținerea posturii și a deplasării, impuse în cadrul sesiunilor de analiză a mișcării, realizate cu ajutorul sistemelor mecatronice

inertiale”, este descrisa proiectarea unui sistem care sa permită realizarea unei calibrării de nivel superior (vezi fig.3.1) a sistemelor de analiza a mișcării, astfel încât, acestea din urma sa poată furniza informații precise in legatura cu biomecanica mișcărilor. Pornind de la concluziile rezultate în urma analizelor de mișcare realizate cu ajutorul sistemul inertial de analiză a mișcării Xsens MVN [64] [65] si descrise in capitolul 2, s-a decis realizarea unui sistem mecatronic care să permită realizarea cu precizie a calibrării impuse în cadrul acestora și de asemenea, să permită obținerea unei bune repetabilități a acestei acțiuni. Împreună cu sistemul Xsens MVN, SC va forma un ansamblu ușor de utilizat și cu o bună portabilitate.

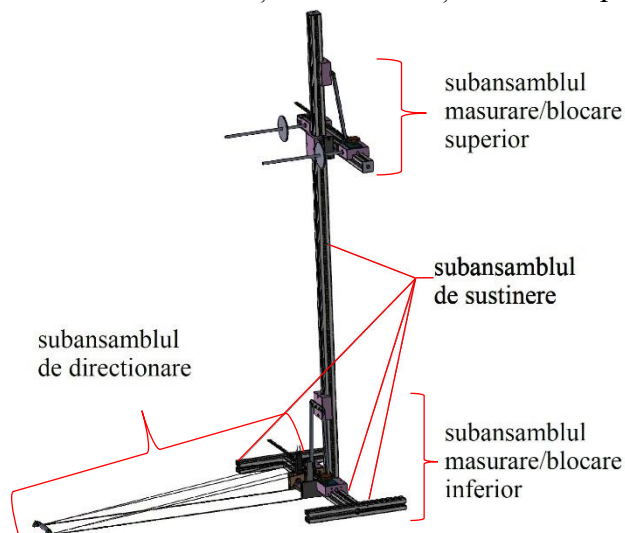


Fig.3.1. Vedere în perspectivă a sistemului de calibrare, proiectat cu scopul de a facilita realizarea și menținerea posturii și a deplasării, impuse în cadrul sesiunilor de analiză a mișcării, realizate cu ajutorul sistemelor mecatronice inertiiale

Sistemul in discutie, prezentat în fig.3.1, reprezintă un ansamblu de elemente care concură la realizarea și menținerea unei anumite posturii, predefinite, impuse, precum și la realizarea și menținerea deplasării corecte din punct de vedere a rectilinității traiectoriei acesteia și de asemenea, din punct de vedere al perpendicularității direcției de deplasare pe planul sagital al subiectului supus analizei (vezi fig.3.9).

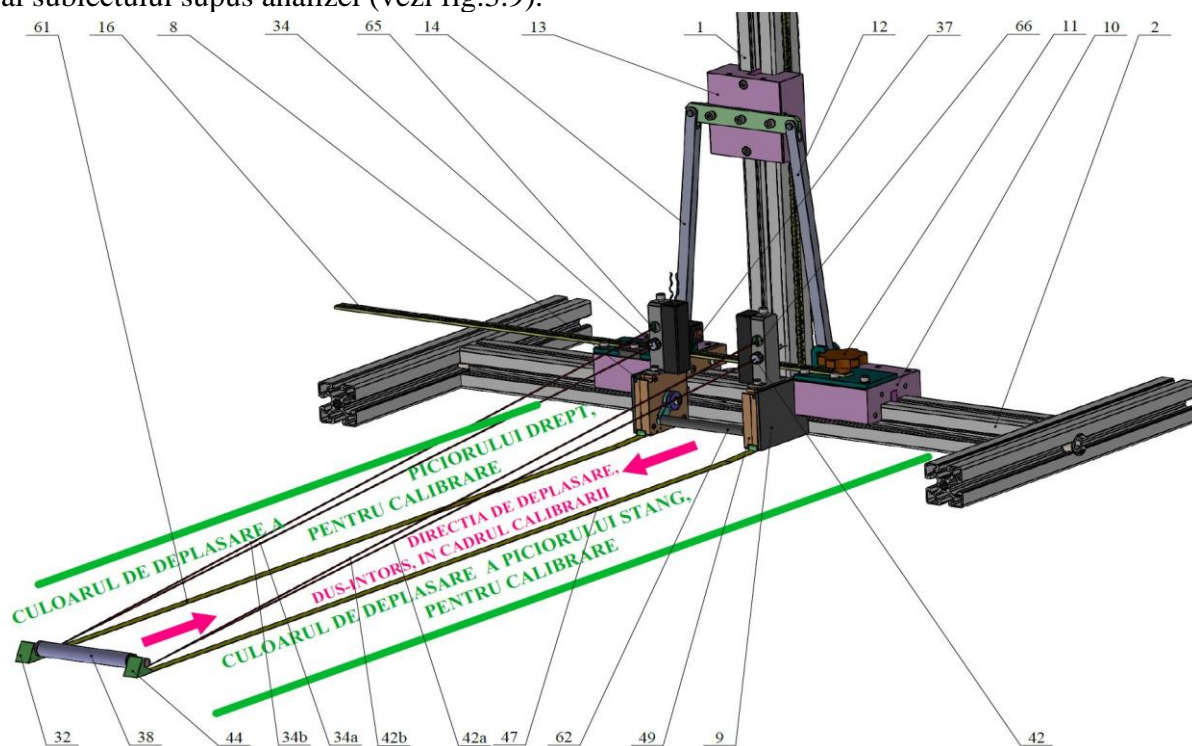


Fig.3.9. Vedere în perspectivă a subansamblului de direcționare

În conformitate cu cerințele calibrării, sportivul va trebui să se deplaseze pe culoarul indicat de către cele două benzi, dreapta 61 și respectiv stânga 47, orice deviere de la acest traseu, producând întreruperea fasciculelor luminoase incidente 34a și respectiv 42a și deci a fasciculelor luminoase reflectate 34b și respectiv 42b. (vezi fig.3.14.a, fig.3.14.b, fig.3.14.c și fig.3.14.d).

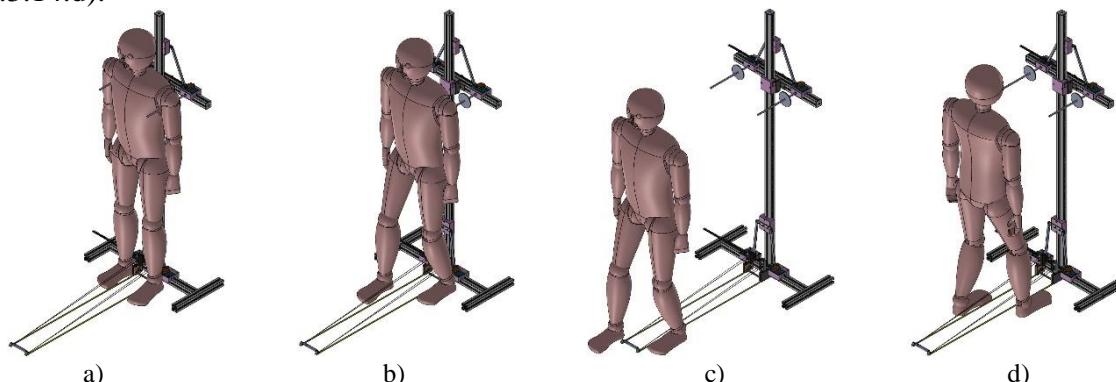


Fig.3.14. Vedere în perspectivă a sistemului de calibrare, cu utilizatorul aflat în deplasarea necesară calibrării, corespunzător pașilor P9-P10, astfel: a) utilizatorul aflat în poziția de plecare; b) utilizatorul aflat în deplasare; c) utilizatorul aflat la capătul cursei de deplasare; d) utilizatorul deplasându-se spre sistemul de calibrare

Pășirea în interiorul culoarului amplasat pe sol, va determina întreruperea fascicului laser aferent piciorului în culpă. Această întrerupere va determina emiterea de către modulele senzitive, dreapta 65 și respectiv stânga 66, a unor semnale sonore de avertizare, care au rolul de a determina sportivul în cauză, să revină la traseul indicat. Din punctul de vedere al operatorului, în funcție de gravitatea abaterii de la traseul stabilit, acesta poate decide reluarea sau nu, a procesului de calibrare.

În cadrul Capitolului 4, intitulat „**Proiectarea în concepție originală a unui sistem mecatronic inteligent utilizat în antrenamentul de performanță la arte marțiale, pentru dezvoltarea controlului neuromuscular/echilibrului dinamic și static, a forței și anduranței membrelor inferioare și a mobilității articulațiilor coxo-femorale, ale sportivilor (SM)**”, este descrisă proiectarea unui sistem mecatronic care să se substituie unui partener uman în realizarea anumitor exerciții specifice antrenamentului la Arte Marțiale (vezi fig.4.1).

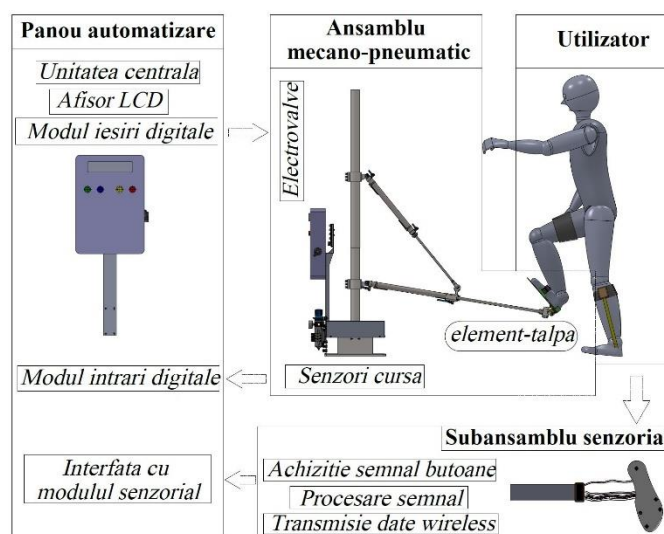


Fig.4.1. Reprezentare schematizată a arhitecturii sistemului de manipulare

În cadrul pregătirii pentru performanță la Arte Marțiale, datorită specificului competițional, pe lângă dezvoltarea calităților motrice (viteza, forța și anduranța), un aspect

foarte important îl reprezintă dezvoltarea deprinderilor motrice: echilibru și coordonare. Dezvoltarea acestor două elemente presupune în fapt execuția unor exerciții fizice menite a crește a controlului neuromuscular al sportivului. Întrucât o mare parte din procedeele tehnice utilizate în competițiile de Arte Marțiale presupun dezechilibrarea adversarului, urmată de aruncarea acestuia la sol (acțiune tehnică denumită *proiectare la sol a adversarului*), este necesar, pentru a crește eficiența sportivilor și pentru a reduce riscul de accidentare, ca exercițiile destinate dezvoltării controlului neuromuscular să primeze în faza de început a pregătirii sportive, să fie continuate pe toată durata antrenamentelor pentru competiție și cel mai important lucru să fie foarte atent structurate. **SM** proiectat, suplinește acțiunile care trebuie îndeplinite, în mod obișnuit, de către un partener/antrenor, pentru a ajuta la pregătirea unui sportiv (denumit în cazul de față și utilizator). **Sistemul de manipulare** îi va permite utilizatorului să realizeze în cele mai bune condiții antrenamente pentru dezvoltarea controlului neuromuscular/echilibrului dinamic și static, a forței și anduranței membrelor inferioare ale acestuia, permițându-i realizarea exercițiilor precum cele care constituie baza contra-procedeele folosite împotriva tehnicilor de *proiectare a adversarului la sol*.

Unul dintre cele mai complete exerciții, care permite dezvoltarea controlului neuromuscular/echilibrului dinamic și static, a forței și anduranței membrelor inferioare ale sportivului, constă în deplasarea într-un picior a acestuia din urmă, pe direcția și cu viteza impusă de către un partener uman [75]. Rolul partenerul uman este acela de a-l menține pe sportiv într-o continuă stare de dezechilibru, schimbându-i în continuu direcția de deplasare, iar rolul sportivului este acela de a se adapta la solicitările impuse, încercând să se deplaseze și chiar să intuiască direcția de deplasare, pentru a-și putea menține echilibrul.

Pornind de la cerințele care se doresc a fi îndeplinite de către **sistemul de manipulare** proiectat, principalele elemente/subansambluri care intră în componența acestuia, sunt:

a) Un **ansamblu mecano-pneumatic** format din:

a.1) Subansamblul inferior, utilizat pentru realizarea mișcărilor de rotație în plan orizontal, ale dispozitivului, acestea având rolul de a determina utilizatorul să se deplaseze spre stânga sau spre dreapta, suplinind astfel acțiunile de deplasare impuse sportivului de către un partener/antrenor, în conformitate cu cerințele exercițiului în discuție (vezi fig.4.3).

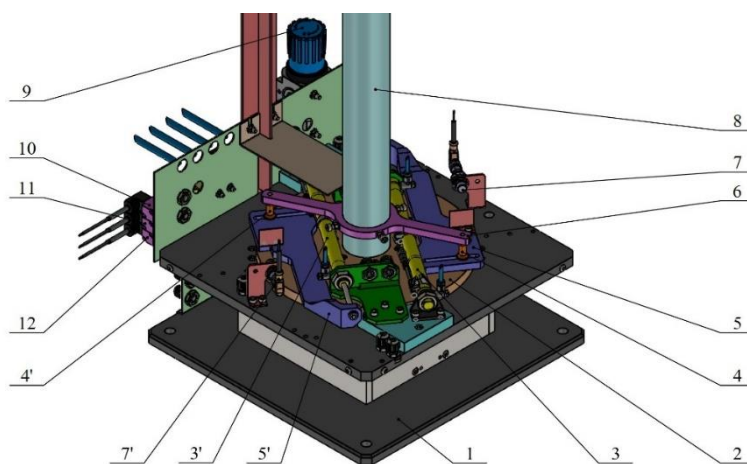


Fig.4.3. Vedere în perspectivă, a **sistemului de manipulare**, cu evidențierea elementelor **subansamblului inferior**

a.2) Subansamblul superior, utilizat pentru realizarea mișcărilor de deplasare în plan vertical, ale dispozitivului, acestea având rolul de a determina utilizatorul să se deplaseze spre față sau spre spate, suplinind astfel acțiunile de deplasare forțată spre una dintre direcțiile menționate anterior, impuse sportivului de către un partener/antrenor, în conformitate cu cerințele exercițiului în discuție (vezi fig.4.7).

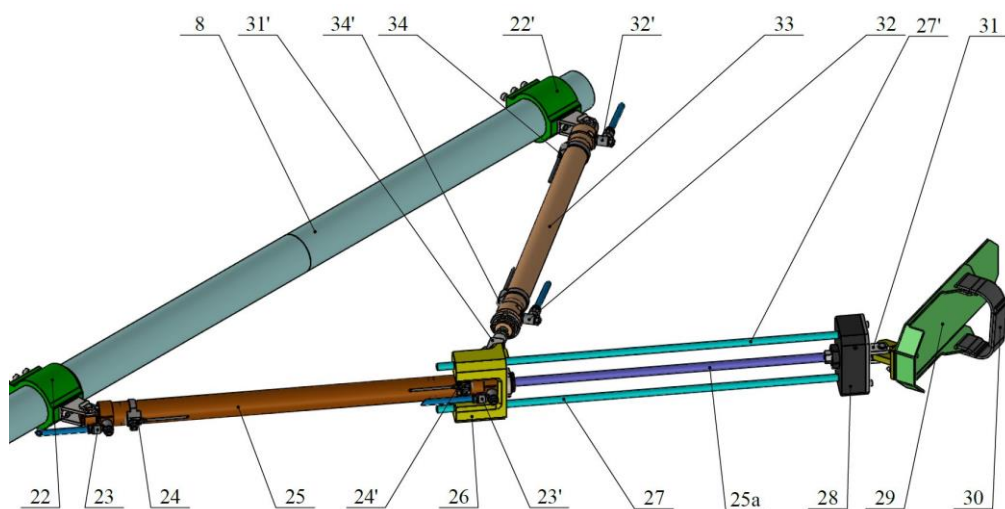


Fig.4.7. Vedere în perspectivă a sistemului de manipulare, cu evidențierea elementelor subansamblului superior

b) Un *subansamblu senzorial*, care conține un *modul electronic portabil* și un *modul senzitiv* care conține un set de cinci micro-butoane cu revenire, amplasate pe un brânț de pantof. *Modulul senzitiv* este utilizat pentru determinarea poziției sprijinului, la nivelul labei piciorului de sprijin al utilizatorului (vezi fig.4.32).

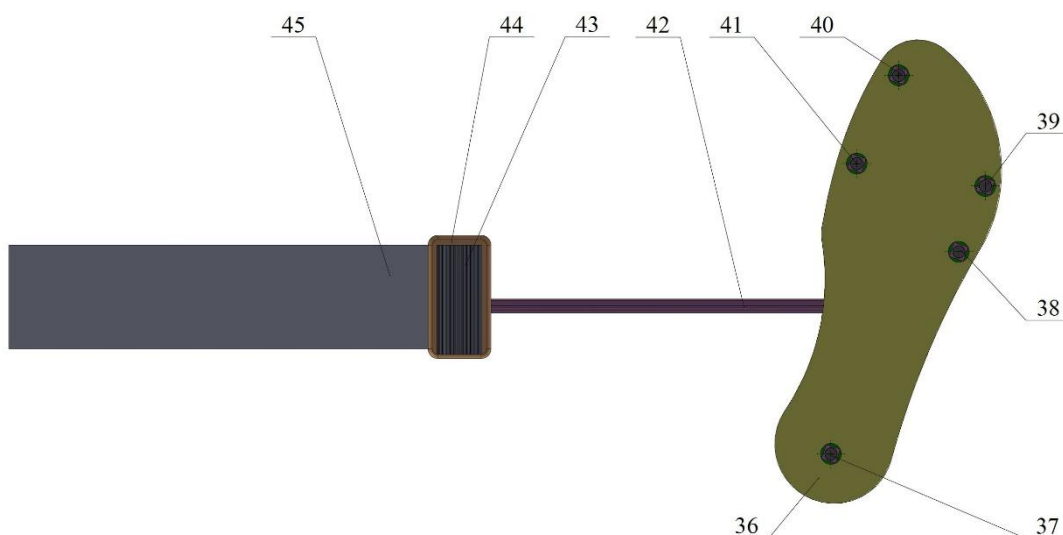


Fig.4.32. Vedere de sus a subansamblului senzorial

Subansamblul senzorial (vezi fig.4.32) este compus din:

- *modulul senzitiv* - este utilizat pentru determinarea poziției sprijinului, la nivelul labei piciorului de sprijin al utilizatorului;
- *modulul electronic portabil* (vezi fig.4.34)- este responsabil cu achiziția și prelucrarea datelor de la *modulul senzitiv* și transmiterea acestora către *panoul de automatizare*.

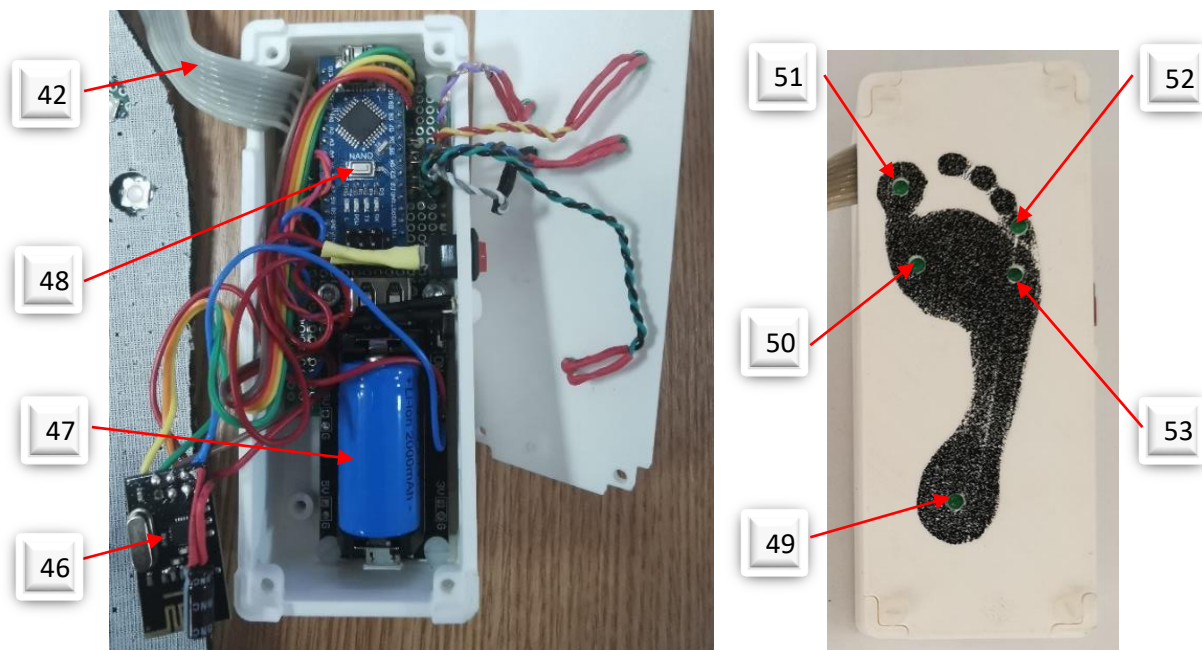


Fig.4.34. Vedere de sus a *modului electronic portabil* realizat: a) având capacul carcasei îndepărtat; b) având montat capacul carcasei

c) Un *subansamblul al unității electronice centrale*, denumit *panou de automatizare* (vezi fig.4.36), utilizat pentru gestionarea și implementarea tuturor funcțiilor sistemului în cauză, precum și a acțiunilor aferente acestora, fie pe baza unei ciclograme prestabilite, care poate fi modificată dinamic în așa fel încât să fie luate în considerare și informațiile furnizate de către *subansamblul senzorial*, fie pe baza comenzilor primite direct de la utilizatorul uman.

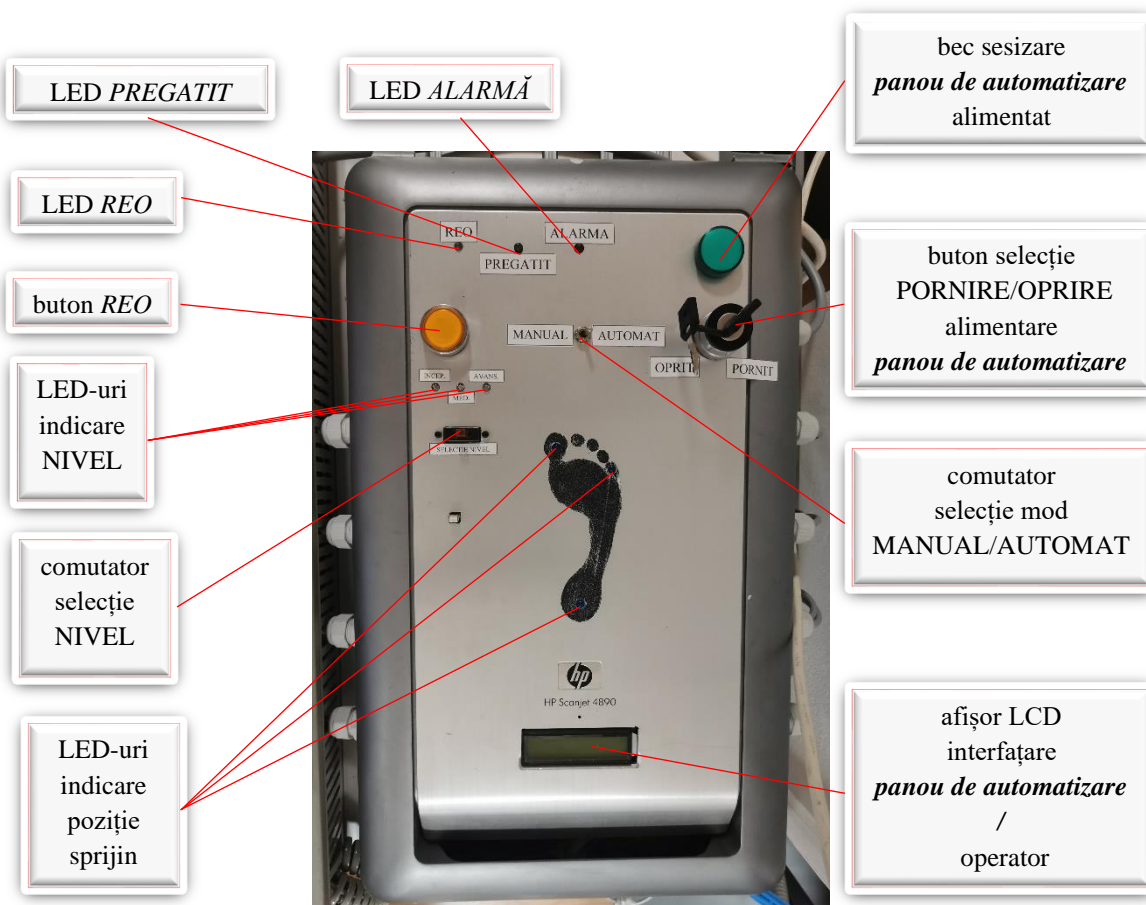


Fig.4.36. Prezentare a interfeței om-mașină a panoului de automatizare al *sistemului de manipulare*

De asemenea, **sistemul de manipulare** îi va permite utilizatorului să realizeze în cele mai bune condiții antrenamente pentru menținerea și/sau dezvoltarea mobilității articulațiilor coxo-femorale ale acestuia.

În cadrul Capitolului 5, intitulat „**Proiectarea în concepție originală a unui sistem mecatronic inteligent utilizat în antrenamentul de performanță la arte marțiale, pentru monitorizare în timp real și autocorecție posturală activă (SCPA)**”, este prezentată proiectarea unui sistem mecatronic inteligent care să-l avertizeze, în timp real, pe utilizator asupra modificării posturii acestuia, în raport cu o postură prestabilă considerată etalon (vezi fig.5.22).

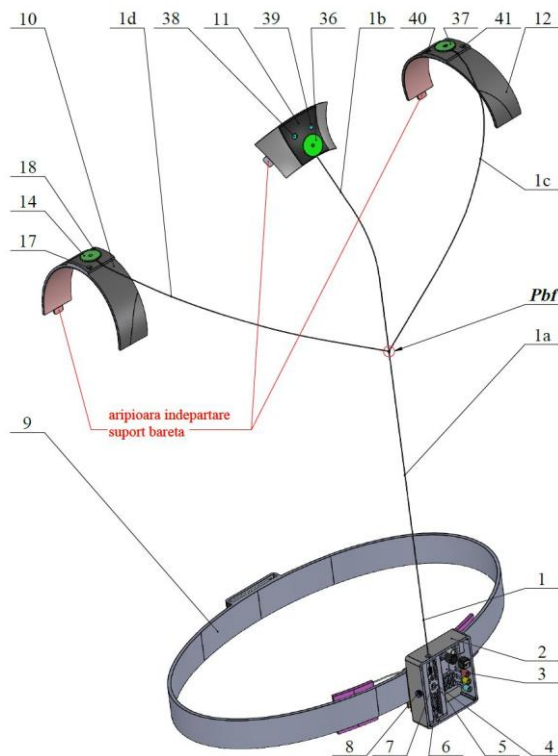


Fig.5.22. Elementele componente ale SCPA

Una dintre cauzele cele mai frecvente ale deformărilor posturale, la sportivii de performanță din sporturile de contact, precum artele marțiale, boxul, sau luptele, o reprezintă postura denumită „**poziția de gardă**” (vezi fig.5.1).



a. Vedere în planul sagital al sportivului

b. Vedere în planul frontal al sportivului

Fig.5.1. Reprezentare a „**poziției de gardă**” utilizată în competițiile de Arte Marțiale de contact - **Sanshou - Wushu Kung-Fu**

Aceasta permite sportivilor să își poată proteja cât mai ușor punctele vitale de la nivelul părții superioare a corpului acestora. „**Poziția de gardă**” implică anumite modificări (vezi fig.5.2.b [107] [108]) în raport cu **postura fiziologică** (normală, sau ideală - vezi fig.5.2.a [107] [108]).



a. Postura fiziologică

b. Postura patologică

Fig.5.2. Reprezentare a *posturii fiziologice* și a celei patologice, din punct de vedere a umerilor și coloanei vertebrale, întâlnită la sportivii de performanță din sporturile de contact și datorată „poziției de gardă”

Cerințe la proiectarea SCPA:

- Cerința principală legată de *SCPA* este aceea de a pune la dispoziția sportivilor și nu numai, un mijloc prin care aceștia să poată realiza, cât mai corect, postura care se impune a fi menținută în timpul execuției mișcărilor de aplecare/îndreptare a trunchiului și ridicare a unor obiecte (greutăți), necesare în cadrul antrenamentelor de pregătire fizică/fizioterapie;
- Cea de-a doua cerință importantă legată de sistemului mecatronic pentru monitorizare în timp real și autocorecție posturală activă este aceea de a-i permite utilizatorului să realizeze treptat corecții posturale, care să țină cont de necesitățile și patologia acestuia;
- O a treia cerință legată de *SCPA* este aceea de a-i permite utilizatorului să realizeze și să mențină o postură corectă a coloanei vertebrale chiar și în mediul casnic (în timpul mersului), sau cel lucrativ.

SCPA va permite realizarea unei monitorizări în timp real a posturii coloanei vertebrale și a pozițiilor umerilor utilizatorului (sportivului), semnalându-i acestuia apariția oricărei modificări în raport cu o postură anterior stabilită, considerată etalon.

Pentru ușurința utilizării *SCPA*, permite setarea a trei *niveluri de sensibilitate* (vezi fig.5.29), setabile, astfel:

- *nivel de sensibilitate scăzut*;
- *nivel de sensibilitate mediu*;
- *nivel de sensibilitate ridicat*.

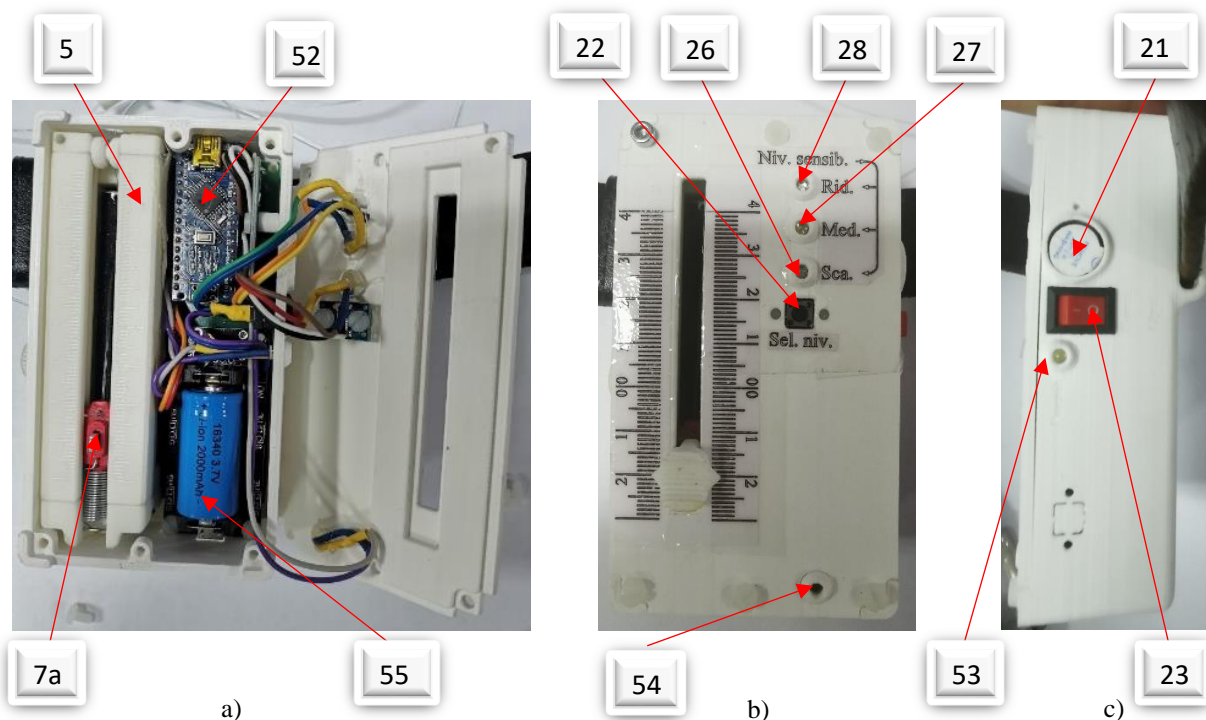


Fig.5.29. Descriere a sistemului mecatronic pentru monitorizare în timp real și autocorecție posturală activă (*SCPA*) realizat, prezentată în cadrul a trei vederi: a) vedere de sus a *SCPA*, având capacul carcasei îndepărtat; b) vedere frontală a carcasei *SCPA*; c) vedere laterală dreapta, a carcasei *SCPA*

Nivelul de sensibilitate reprezintă un interval al variațiilor posturale, a cărui depășire, din punct de vedere al limitelor inferioara și respectiv superioara, produce emiterea de către *SCPA* a unui semnal de avertizare, care să-l determine pe utilizator să realizeze o autocorecție a posturii abordate. Astfel, cu cât acest nivel de sensibilitate este mai scăzut, cu atât intervalul de variații posturale este mai îngust, respectiv cu cât acesta este mai ridicat, cu atât intervalul de variații posturale este mai larg. Acest lucru permite adaptarea gradului de corecție posturală, la specificitățile anatomice ale utilizatorului.

Pentru a facilita reamplasarea precisă a *SCPA*, pe corpul utilizatorului, fără a necesita ajutorul unei terțe persoane, a fost proiectat și un *subansamblu repoziționare* (vezi fig.5.31).

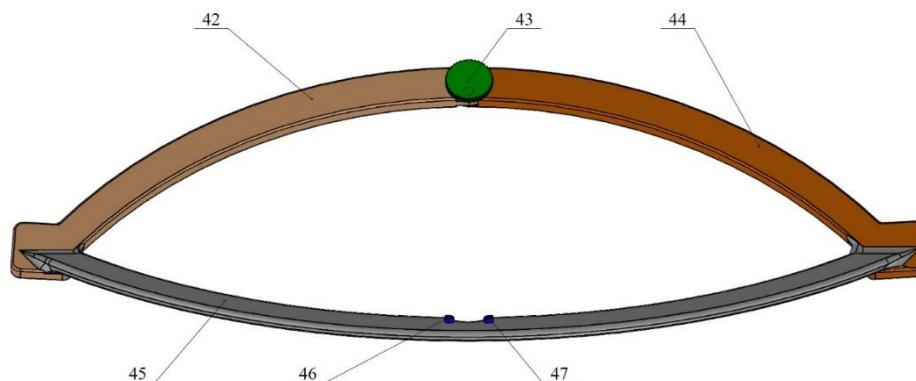


Fig.5.31. Vedere de sus, în perspectivă, a subansamblului de repoziționare

În cadrul Capitolului 6, intitulat „**Rezultate ale cercetărilor experimentale privind funcțiile și modalitățile de utilizare ale sistemelor mecatronice proiectate și realizate**”, sunt prezentate caracteristicile, funcțiile, precum și testele realizate pentru a valida funcționarea sistemelor mecatronice proiectate, prezentate în capitolele 3, 4 și 5.

Caracteristicile tehnice ale *SC* realizat pe baza proiectului cu același nume:

- dimensiuni de gabarit - 800mmx400mmx1750mm;
- greutate - 7kg;
- distanța maximă acceptată dintre umerii utilizatorului - 750mm;
- distanța minimă acceptată dintre călcâiele utilizatorului - 140mm;
- înălțimea maximă acceptată de la sol până la tangenta cu axilele utilizatorului - 1700;
- lungimea maximă a culoarului amplasat - 10000mm;
- greutatea maximă a utilizatorului suportată de către tijele reglare ale sistemului - 120kg.

Principalele funcții ale sistemului de calibrare realizat:

- facilitează obținerea și menținerea posturii și a deplasării utilizatorului, în conformitate cu cerințele impuse de către sistemele mecatronice inerțiale de analiză a mișcării;
- permite verificarea și/sau poziționarea corectă a senzorilor sistemului inerțial de analiză a mișcării utilizat, din punctul de vedere al simetriei pozițiilor acestora, în raport cu planul sagital al utilizatorului;
- reprezintă un reper în funcție de care se poate realiza verificarea repetabilității pozițiilor elementelor anatomice estimate de către sistemele mecatronice inerțiale de analiză a mișcării.

Pentru a verifica validitatea funcționării *sistemului de calibrare*, proiectat și realizat în scopul obținerii și menținerii posturii și a deplasării, impuse în cadrul sesiunilor de analiză a mișcării, realizate cu ajutorul sistemelor mecatronice inerțiale, au fost efectuate o serie de analize de mișcare, utilizând sistemul inerțial Xsens MVN. Aceste analize au fost concepute pentru a pune în evidență cele două funcții principale ale *sistemului de calibrare* realizat și anume:

- facilitarea obținerii și menținerii unei posturi corecte a utilizatorului (vezi fig.6.11), corespunzătoare cerințelor impuse în cadrul calibrării sistemului inerțial de analiză a mișcării utilizat.

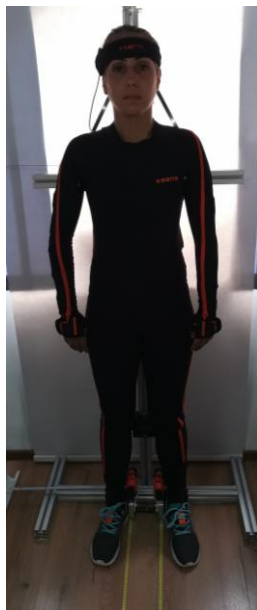


Fig.6.11. Vedere din față cu utilizatorul sprijinit pe sistemul de calibrare realizat

Pentru a realiza verificarea capacității *sistemului de calibrare*, de a crea cadrul necesar realizării cerințelor legate de calitatea posturii de tip „N”, impusă în cadrul etapei de calibrare a sistemelor mecatronice inerțiale de analiză a mișcării, a fost utilizat sistemul Xsens MVN, ale cărui caracteristici au fost prezentate în subcapitolul 2.3.

Această activitate a constat în analiza comparativă a informațiilor de mișcare, obținute în timpul acțiunilor întreprinse de utilizator pentru obținerea și menținerea posturii de tip „N”, impusă în cadrul etapei de calibrare a sistemului inerțial de analiză a mișcării Xsens MVN, atât cu, cât și fără ajutorul *sistemului de calibrare* (sau a unui alt dispozitiv extern).

- facilitarea realizării unei deplasări corecte a utilizatorului (vezi fig.6.6), corespunzătoare cerințelor impuse în cadrul calibrării sistemului inerțial de analiză a mișcării utilizat.

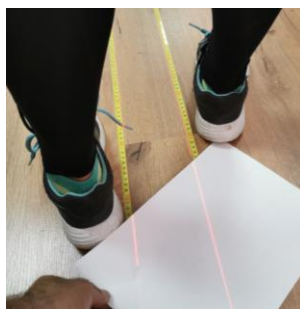


Fig.6.6. Vedere în perspectivă a culoarului deplasare al sistemului de calibrare, cu evidențierea modului corect de pășire impus utilizatorului, a benzilor culoarului deplasare, precum și a barierelor optice materializate prin intermediul fasciculelor luminoase emise de către cele două indicatoare liniare laser

Pentru a realiza verificarea capacității *sistemului de calibrare*, de a crea cadrul necesar realizării cerințelor legate de calitatea deplasării impuse în cadrul etapei de calibrare a sistemelor mecatronice inerțiale de analiză a mișcării, a fost utilizat sistemul Xsens MVN.

Această activitate a constat în analiza comparativă a informațiilor de mișcare, obținute în timpul acțiunilor întreprinse de utilizator pentru realizarea deplasării, impuse în cadrul etapei

de calibrare a sistemului inerțial de analiză a mișcării Xsens MVN, atât cu, cât și fără ajutorul *sistemului de calibrare* (sau a unui alt dispozitiv extern).

Concluziile rezultate în urma testării SC:

- în cazul în care obținerea și menținerea posturii impuse în etapa de calibrare a sistemului mecatronic inerțial de analiză a mișcării, se efectuează cu ajutorul *sistemului de calibrare* realizat, abaterea de la pozițiile umerilor și cea a posturii coloanei vertebrale ale utilizatorului, sunt reduse de la ordinul zecilor de milimetri, cum este cazul poziționării libere, la ordinul a 2-3mm;

- dacă deplasarea se realizează urmărind culoarul marcat cu ajutorul *sistemului de calibrare* realizat, abaterea de la perpendicularitatea pe planul frontal al calibrării (planul **YOZ**), a traiectoriei deplasării, în zona utilă a deplasării (începând de la 0,5m față de referință și până la 3,5m față de referință), este semnificativ redusă față de situația în care deplasarea se realizează liber, fără a urma un culoar anume marcat.

Caracteristicile tehnice ale **SM** realizat pe baza proiectului cu același nume:

- dimensiuni de gabarit - 1500mmx400mmx1700mm;
- tensiunea de alimentare 230V;
- presiune de alimentare 6bar;
- presiune de funcționare 3-6bar;
- greutatea *sistemului de manipulare* - 30kg;
- unghiul maxim deplasare a elementului-talpă al *sistemului de manipulare* - 30°;
- înălțimea maximă la care este ridicat elementul-talpă al *sistemului de manipulare* - 1800mm;
- viteza maximă, în sarcina, deplasare a elementului-talpă al *sistemului de manipulare* - 0,3m/s;
- lungimea maximă a culoarului amplasat - 10000mm;
- greutatea maximă suportată a utilizatorului - 50kg.

Principalele funcții ale *sistemului de manipulare* realizat:

- permite dezvoltarea controlului neuromuscular/echilibrului dinamic, a forței și anduranței membrelor inferioare, ale sportivilor;
- permite dezvoltarea controlului neuromuscular /echilibrului static, al membrelor inferioare, ale sportivilor;
- permite dezvoltarea mobilității articulațiilor coxo-femorale, ale sportivilor.

În cazul *funcției de dezvoltare a controlului neuromuscular/echilibrului dinamic, a forței și anduranței membrelor inferioare, ale sportivilor, sistemul de manipulare* are rolul de a-i impune utilizatorului, deplasarea conform un ciclu de mișcare prestabilit, menținându-l pe acesta într-o stare continuă de dezechilibru (vezi fig.6.20).

Combinăția dintre durata ciclului de mișcare și viteza de deplasare a elementului-talpă 29, stabilește nivelul de solicitare neuromusculară la care este supus utilizatorul. Acest nivel trebuie setat corespunzător cu nivelul de pregătire al sportivului și respectiv cu specificitățile acestuia.



Fig.6.20. Reprezentare cronologică a pozițiilor extreme ocupate de către sportiv în timpul utilizării sistemului de manipulare, pentru dezvoltarea controlului neuromuscular/echilibrului dinamic, a forței și anduranței membrilor inferioare, ale sportivilor

În cazul în care se dorește utilizarea *funcției dezvoltare a controlului neuromuscular/echilibrului static al membrilor inferioare, sistemului de manipulare*, utilizatorul va trebui să-și mențină nemișcată, poziția labei piciorului aflat pe sol. Cu ajutorul *telecomenzii* dedicate modului de lucru *MANUAL*, acesta își va putea ridica sau coborî, în funcție de necesitate, piciorul manipulat (vezi fig.6.22) și de asemenea, își va putea deplasa acest picior, spre stânga sau dreapta, pentru a putea realiza trecerea de la o postură la alta, mai exact trecerea de la o tehnică de lovire cu piciorul, la alta. Acest reglaj, pe verticală și respectiv pe orizontală, se va realiza doar de către utilizator, în funcție de specificul fiecărei tehnici anterior menționate și ținând seama de propriile specificități anatomice și biomotrice (nivelul de mobilitatea al zonei articulațiilor coxo-femorale).

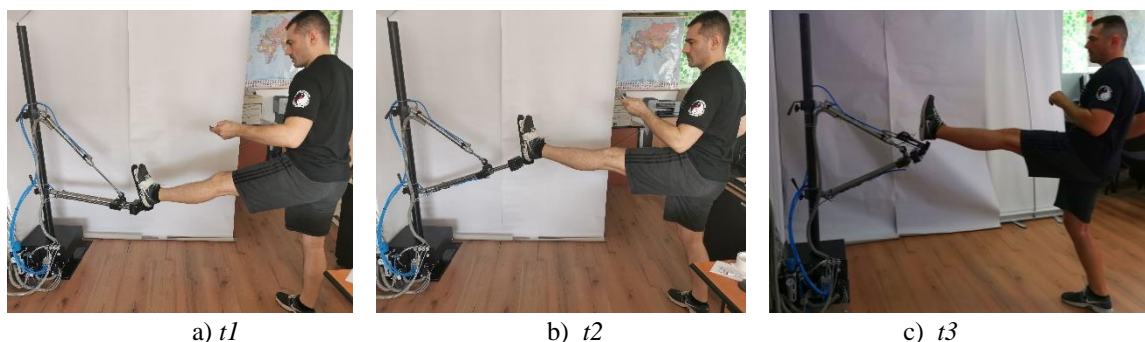


Fig.6.22. Reprezentare cronologică (t1-t3) a câtorva posibile poziții ocupate de către sportiv în timpul utilizării sistemului de manipulare, pentru dezvoltarea controlului neuromuscular/echilibrului static al membrilor inferioare, ale sportivilor

În cazul *funcției dezvoltare a mobilității articulațiilor coxo-femorale, ale sportivilor*, sistemul are rolul de a-i asigura utilizatorului, poziționat cu unul dintre picioare pe elementul-talpă 29', deplasarea și sprijinul acestuia, în așa fel încât sportivul să poată realiza exercițiile cunoscute în mediul sportiv sub denumirea de *șpagat* (vezi fig.6.25) și respectiv *sfoara* (vezi fig.6.26).

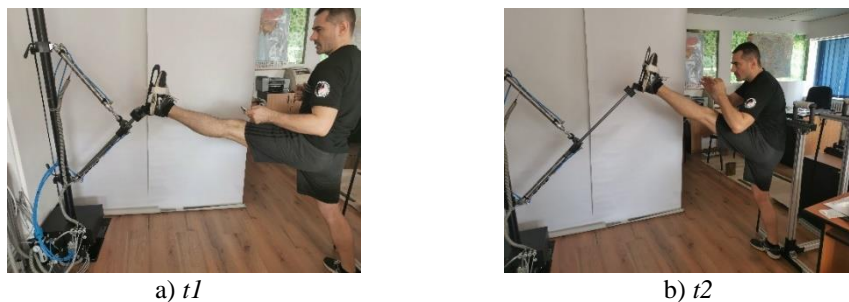


Fig.6.25. Reprezentare cronologică ($t1-t2$) a câtorva posibile poziții ocupate de către sportiv în timpul utilizării *SM*, pentru dezvoltarea mobilității articulațiilor coxo-femorale, ale sportivilor, în cazul exercițiului șpagatul



Fig.6.26. Reprezentare cronologică ($t1-t2$) a câtorva posibile poziții ocupate de către sportiv în timpul utilizării *SM*, pentru dezvoltarea mobilității articulațiilor coxo-femorale, ale sportivilor, în cazul exercițiului sfoara

Pentru determinarea validității funcționării *SM* realizat, s-au efectuat o serie de teste care au avut rolul de a pune în evidență curbele deplasare ale labelor picioarelor și a centrului de greutate a subiectului uman supus analizei (vezi fig.6.27).

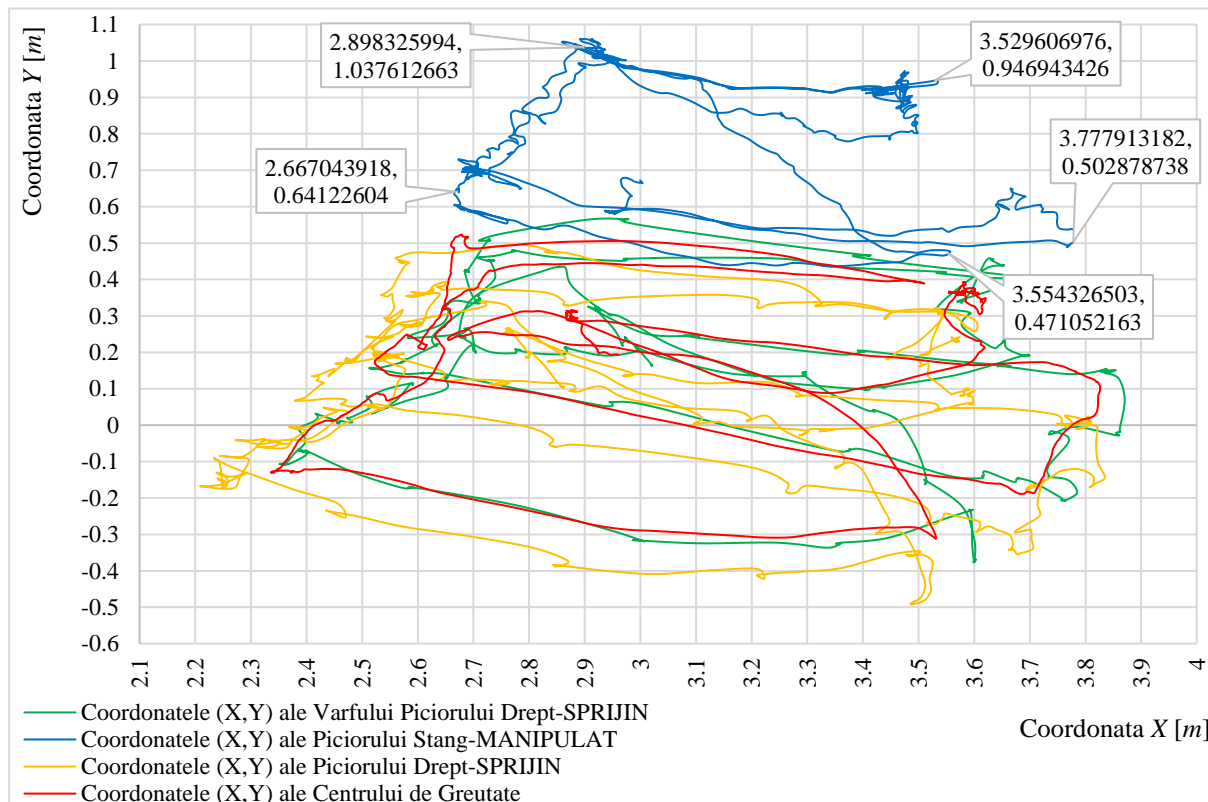


Fig.6.27. Reprezentarea grafică, în planul XOY , a traiectoriilor pozițiilor labelor, vârfurilor picioarelor și a centrului de greutate al utilizatorului, obținute în timpul realizării deplasării impuse de către elementul-talpă 29 al sistemul de manipulare realizat, obținute cu ajutorul sistemului inerțial de analiză a mișcării Xsens MVN

Concluziile rezultate în urma testării prototipului sistemului de manipulare realizat:

- în urma testelor realizate s-a constatat faptul că **sistemul de manipulare** realizat, execută în mod corespunzător ciclograma de mișcare impusă;

- testele au evidențiat faptul că **sistemul de manipulare** realizat, a adaptat ciclograma de mișcare, în funcție de informațiile furnizate de către **subansamblul senzorial**. Astfel, **SM** realizat, creează cadrul necesar realizării exercițiilor a căror execuție corectă poate conduce la dezvoltarea controlului neuromuscular/echilibrului dinamic și static, a forței și anduranței membrelor inferioare și a mobilității articulațiilor coxo-femorale, ale sportivilor.

Caracteristicile tehnice ale **SCPA** realizat (vezi fig.6.30):

- dimensiuni de gabarit - 115mmx65mmx35mm;
- alimentare de la acumulator reîncărcabil de tip Li-Ion, cu tensiune nominală de 4,2V și capacitate de 1000mAh;

- încărcare acumulator la tensiunea de 5VDC, prin portul USB tip C;

- consumul în regim normal de funcționare - aprox.100mAh;

- autonomie funcțională - aprox.10h;

- greutate - 400g;

- distanța maximă acceptată dintre umerii utilizatorului - 750mm;

- incertitudine - ± 1 mm;

- sensibilitatea minimă presetată - echivalentă cu deplasarea minimă a pozițiilor reperelor anatomice monitorizate la care sistemul emite semnale de avertizare privind modificarea posturii utilizatorului în raport cu referință este de 10mm în cazul modificării posturale frontale (în planul sagital) și a ridicării umerilor, respectiv 5mm în cazul modificării posturale dorsale (în planul sagital) și a coborârii umerilor;

- deplasarea maximă acceptată a pozițiilor reperelor anatomice monitorizate, în raport cu referință - 40mm în cazul modificării posturale frontale (în planul sagital) și a ridicării umerilor, respectiv 20mm în cazul modificării posturale dorsale (în planul sagital) și a coborârii umerilor.

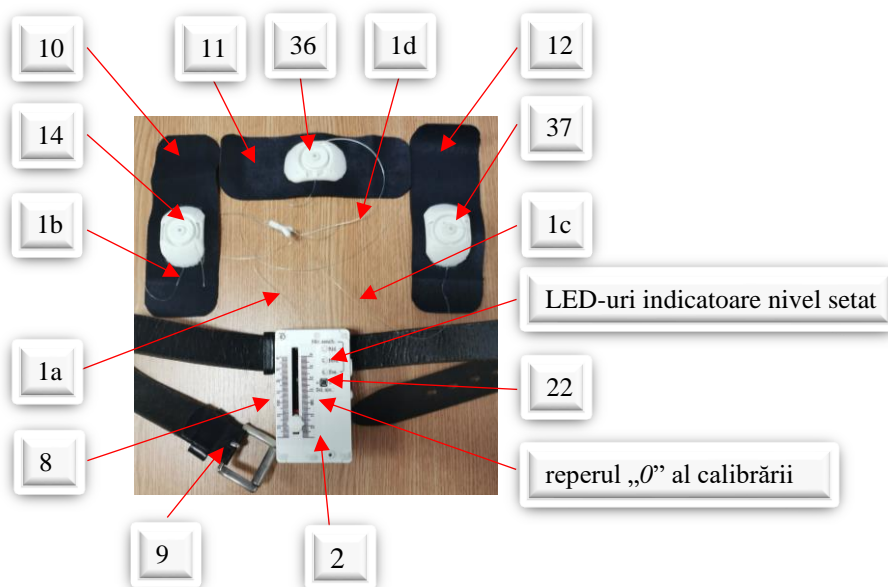


Fig.6.30. Vedere frontala a **SCPA** realizat

Principalele funcții ale **SCPA** realizat:

- facilitează autocorecția activă și rapidă a posturii trunchiului utilizatorului, din punctul de vedere al coloanei vertebrale și a umerilor acestuia, în raport cu o postură prestabilită care poate fi postura fiziologică, sau o postură cât mai apropiată de aceasta, stabilită în funcție de specificitățile patologice ale utilizatorului;

- facilitează corecția posturală în timpul realizării mișcărilor de aplecare și ridicare a trunchiului, necesare în cadrul antrenamentelor de pregătire fizică/fizioterapie sau a celor impuse în cadrul diverselor activități lucrative, precum și în timpul activităților casnice obișnuite;

- facilitează reducerea duratei estimate de recuperare fizica a utilizatorului, dacă este folosit în combinație cu exerciții de fizioterapie;

- permite realizarea în timp, de corecții posturale graduale. Prin cumulara acestora se poate ajunge la o corecție posturală majoră;

- permite reeducarea sistemul neuromuscular al utilizatorului în privința controlului postural, pentru ca, în timp, acesta să poată prelua și deține controlul total asupra acestei activități.

Pentru verificarea gradului de îndeplinire a obiectivelor propuse pentru **SCPA** realizat, au fost efectuate cu ajutorul acestuia o serie de teste (vezi fig.6.38), în cadrul cărora s-a urmărit eficiența sistemului în discuție, în a sesiza depășirea limitelor impuse de către nivelul de sensibilitate setat al acestuia, evidențierea reacției utilizatorului la atenționările realizate de către SCPA realizat, în momentul depășirii nivelului de sensibilitate setat al sistemului, precum și a diferențelor dintre cele trei niveluri de sensibilitate posibil a fi setate pe acesta.

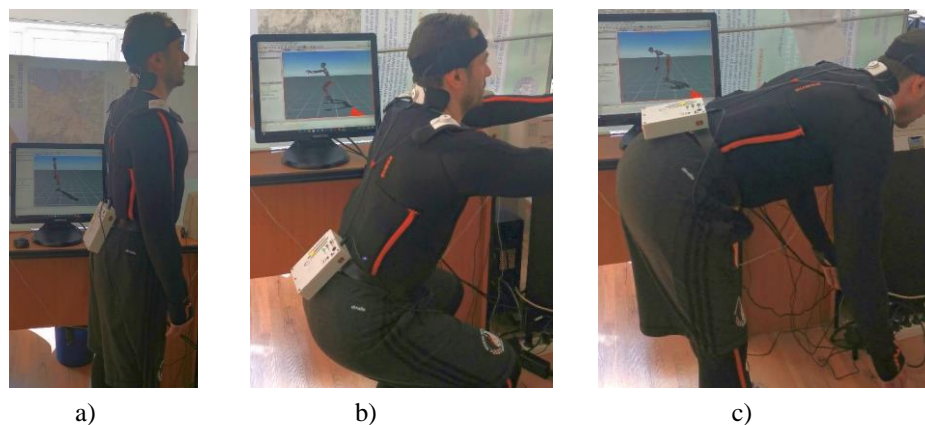


Fig.6.38. Exemple de câteva exerciții elementare realizate în scopul testării **SCPA** și anume: a) mersul normal; b) genuflexiune; c) aplecare spre față

În cazul testării eficienței **SCPA** de a sesiza depășirea limitelor impuse de către nivelul de sensibilitate setat al acestuia, a fost verificat modul în care reacționează potențiometrul liniar 7, al **SCPA**, la modificările posturale corespunzătoare fiecărui nivel de sensibilitate al sistemului în discuție (vezi fig.6.41).

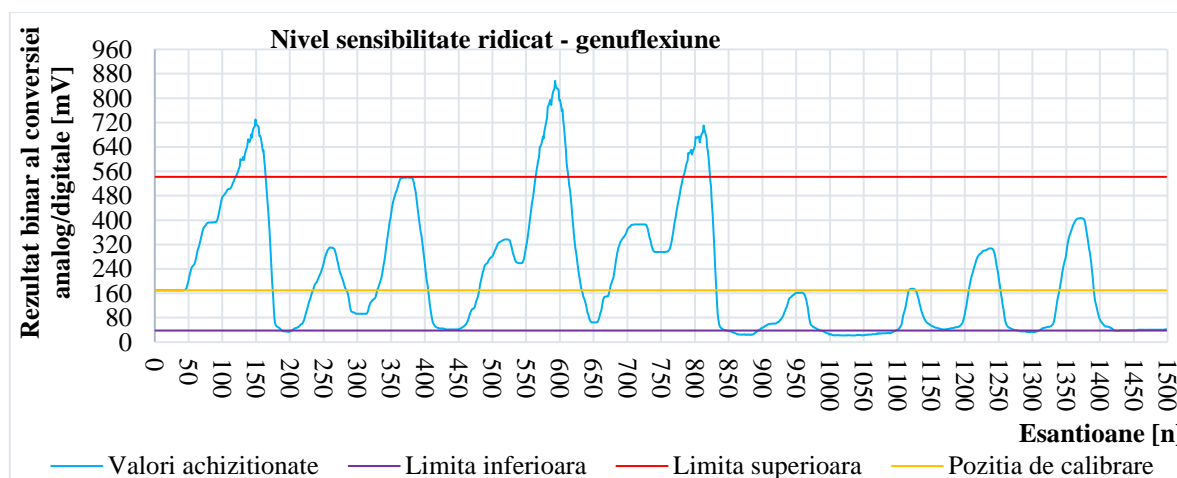


Fig.6.41. Graficul variației valorilor conversiei analog/digitale a tensiunii electrice, generate de către potențiometrul liniar 7 și determinate de mișcările la nivelul coloanei vertebrale și a umerilor utilizatorului **SCPA**, apărute în timp ce acesta executa genuflexiuni, în cazul în care pe sistemul în discuție a fost setat nivelul de sensibilitate ridicat

A fost realizat un al doilea set de analize, care au avut rolul de a evidenția atât reacția utilizatorului la atenționările emise de către SCPA realizat, în momentul depășirii nivelului de sensibilitate setat al sistemului, cât și diferențele dintre cele trei niveluri de sensibilitate posibil a fi setate, ale acestuia. De asemenea, analizele realizate au fost direcționate către evidențierea capacității SCPA realizat, de a sesiza/monitoriza modificările posturale ale utilizatorului, precum și a modului în care acesta realizează funcția menționată, fapt ce îl deosebește de restul dispozitivelor existente și anume:

- modificările la nivelul curburilor toracice și lombare a coloanei vertebrale a utilizatorului, în planul sagital al acestuia (flexia și extensia), precum și în planul transversal (răsucirea spre stânga sau dreapta a trunchiului utilizatorului, realizată fără modificarea pozițiilor labelor picioarelor acestuia) (vezi fig.6.47.a, fig.6.47.b și fig.6.47.c);

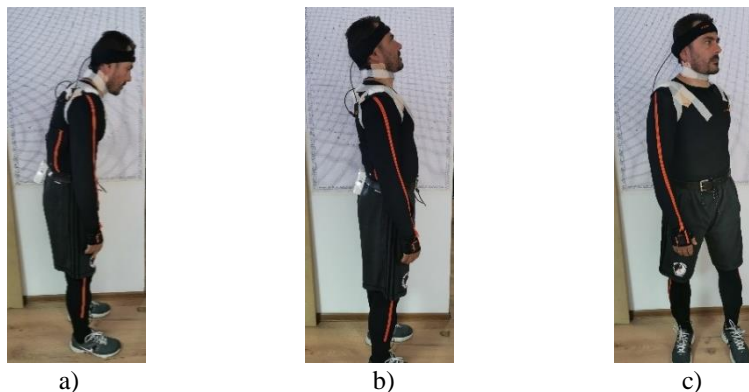


Fig.6.47. Postura obținută de către utilizator la finalul unei mișcări de flexie (a), de extensie (b) și respectiv de răsucire (c) a trunchiului

- modificările la nivelul curburii cervicale a coloanei vertebrale a utilizatorului, în planul sagital al acestuia (vezi fig.6.48 și fig.6.51).



Fig.6.48. Postura obținută de către utilizator la finalul unei mișcări de flexie la nivelul curburii cervicale

- modificările la nivelul umerilor utilizatorului (vezi fig.6.49.a, fig.6.49.b și fig.6.49.c). A fost realizată doar analiza mișcării de elevație a umerilor utilizatorului, întrucât mișcarea de protrakție are și o componentă de elevație.



Fig.6.49. Postura obținută de către utilizator la finalul unei mișcări de ridicare a umărului drept (a), a umărului stâng (b) și respectiv a ambilor umeri (c)

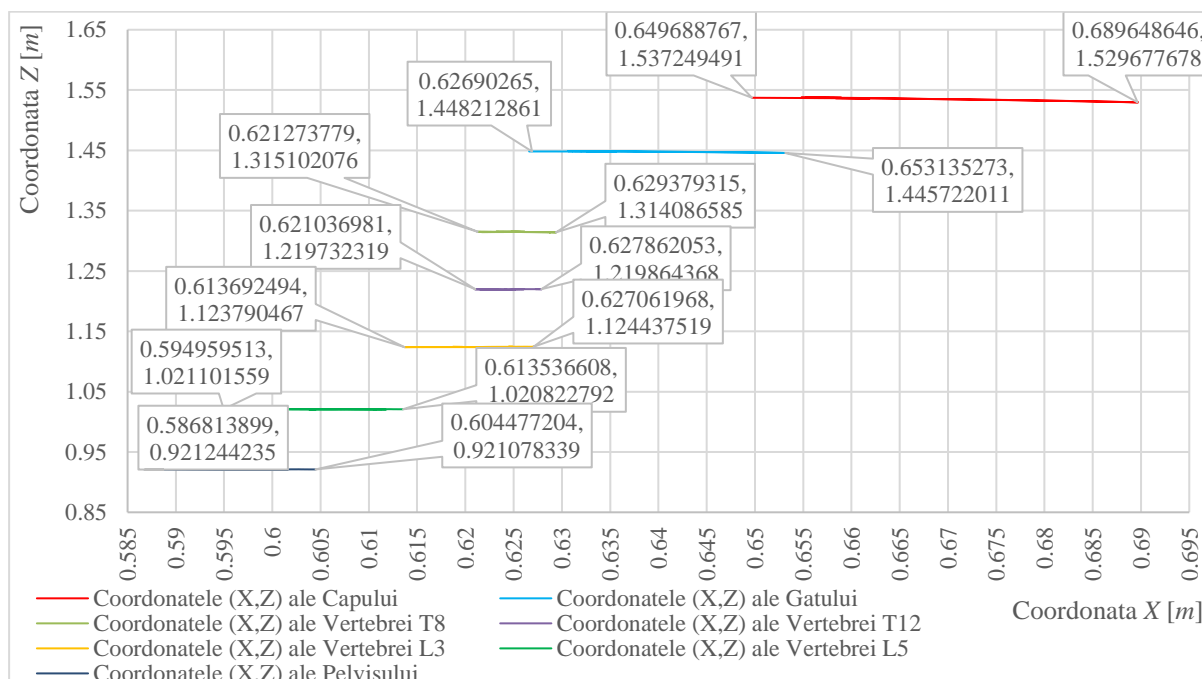


Fig.6.51. Reprezentarea grafică, în planul $X0Z$ (planul sagital al utilizatorului), a traiectoriilor pozițiilor capului, ale vertebrelor (T8, T12, L3 și L5) și ale pelvisului, obținute în timpul realizării unei mișcări de flexie la nivelul trunchiului utilizatorului și a corecției corespunzătoare a acestuia, ca reacție la semnalul de alarmă emis de *SCPA* în momentul depășirii nivelului ridicat de sensibilitate setat pe acesta, obținute cu ajutorul sistemului inerțial de analiză a mișcării Xsens MVN

Concluziile rezultate în urma testării prototipului *SCPA*:

- în urma testelor realizate s-a constatat faptul că *SCPA* sesizează în mod corespunzător atât mișcărilor coloanei vertebrale în planul sagital, precum și în cel frontal, cât și mișcărilor umerilor în planul sagital, în cel frontal, precum și în cel transversal;

- din analiza graficelor prezentate în acest subcapitol se poate constata faptul că poziționarea *liniei de marcaj „0”* al calibrării mai aproape de limita inferioară a intervalului de variație posturală corespunzătoare mișcărilor pe direcția spre spate, este corectă datorită faptului că amplitudinea mișcărilor pe direcția spre față este mai mare decât cea a mișcărilor spre spate. Acest lucru demonstrează faptul că modul de alegere a limitelor intervalului de variație, corespunzător nivelului de sensibilitate setat, în raport cu poziția de calibrare a *SCPA* (*linia de marcaj „0”* al calibrării) este corect;

- *SCPA* îi permite utilizatorului să opteze și pentru menținerea/corecția posturală doar din punct de vedere al coloanei vertebrale a acestuia, sau doar din punct de vedere al poziției umerilor acestuia;

- **SCPA** îi permite utilizatorului să îndeplinească cât mai corect cerințele privind postura care se impune a fi realizată/menținută în timpul execuției mișcărilor de aplecare/îndreptare a trunchiului, precum și de ridicare a unor obiecte, necesare în cadrul antrenamentelor de pregătire fizică/fizioterapie sau a celor impuse în cadrul diverselor activități lucrative, precum și în timpul activităților casnice obișnuite;

- datorită posibilității de setare a nivelului de sensibilitate, **SCPA** proiectat și realizat, facilitează obținerea de corecții posturale, mai mici sau mai mari, în funcție de necesitățile impuse de patologia persoanei în cauză;

- prin utilizarea ca element sesizor a unui fir flexibil și inextensibil, se reduc semnificativ costurile de realizare a **SCPA**, în raport cu variantele alternative, bazate pe utilizarea senzorilor de înclinație [187], a senzorilor de încovoiere[188] [189], sau a combinațiilor acestora. Datorită acestui aspect, sistemul prezintă o structură simplă, având un gabarit redus și o bună portabilitate;

- datorită dimensiunilor și a greutății reduse, **SCPA** astfel proiectat poate fi utilizat zilnic, indiferent de mediul în care utilizatorul își desfășoară activitatea, fără a restricționa mișcările naturale ale corpului acestuia, în măsura în care acestea sunt realizate corect din punct de vedere biomecanic. **SCPA** realizat reprezintă un mijloc pentru antrenarea/reeducarea sistemului nervos al utilizatorului, în a obține și a menține o postură cât mai apropiată de cea fiziologică, multă vreme după încetarea utilizării acestuia.

CONCLUZII

C.1. Concluzii generale ale cercetărilor întreprinse

Lucrarea curentă reprezintă rezultatul cercetărilor realizate în cadrul proiectului doctoral, care au avut ca scop realizarea unei analize amănunțite asupra sistemelor mecatronice inteligente utilizate în antrenamentul de performanță la Arte Marțiale, pentru identificarea aceluia care permit corectarea biomecanicii mișcărilor, pentru determinarea limitărilor acestora, precum și proiectarea, execuția și testarea unor noi dispozitive/sisteme mecatronice inteligente, care să aducă îmbunătățiri celor existente și să faciliteze saltul calitativ urmărit în cadrul pregătirii sportive pentru performanță, concomitent cu reducerea riscului de apariție a accidentărilor.

▪ **SC** proiectat corespunde cerințelor de bază ale acțiunii de calibrare a unui sistem inerțial de analiză a mișcării:

- să permită utilizarea în cadrul etapei de calibrare fără a interfera în mod negativ cu această acțiune;

- să permită obținerea și menținerea unei posturi a utilizatorului cât mai aproape de postura fiziologică, atât din punct de vedere al curburilor coloanei vertebrale cât și din punct de vedere al pozițiilor umerilor;

- să permită realizarea de către utilizator a unei deplasări a cărei direcție să fie perpendiculară pe planul frontal al calibrării (planul frontal al utilizatorului în momentul realizării posturii impuse) și a cărei traiectorie trebuie să fie liniară, atât pe cursa de plecare cât și pe cea de revenire.

SC în discuție, a fost proiectat în așa fel încât, pe lângă funcțiile principale, prezentate mai sus, să permită și verificarea simetriei de poziționare a MEMS-urilor sistemelor inerțiale de analiză a mișcării, în raport cu planul sagital al utilizatorului. O altă caracteristică importantă a acestuia o reprezintă posibilitatea de utilizare a acestuia ca reper în funcție de care poate fi determinată repetabilitatea sistemelor inerțiale de analiză a mișcării, din punct de vedere al pozițiilor elementelor anatomice estimate de către acesta din urmă.

▪ **SM** proiectat creează cadrul necesar realizării următoarelor funcții:

- simularea unui exercițiu care presupune manipularea unuia dintre picioarele sportivului cu scopul de a-l menține pe acesta într-o stare continuă de dezechilibru. Rolul unui astfel de a permite dezvoltarea în timp a controlului neuromuscular/echilibrul dinamic, a forței și anduranței membrilor inferioare, ale sportivilor.

- sprijinirea corectă a sportivului pentru a putea realiza exercițiul care permite, în timp, dezvoltarea controlului neuromuscular/echilibrului static al membrilor inferioare, ale acestuia.

- dezvoltarea mobilității articulațiilor coxo-femorale, ale acestuia.

SM a fost proiectat în așa fel încât să realizeze toate aceste obiective, cu aceiași parametri de mișcare, sau cu parametri diferiți, pentru a permite obținerea unei simetrii între cele două membre inferioare ale utilizatorului.

▪ **SCPA** proiectat creează cadrul necesar realizării monitorizării posturale a utilizatorului, precum și al avertizării acestuia, în timp real, asupra modificărilor ce depășesc un anumit nivel presetat.

▪ În urma testelor realizate, concluziile rezultate au condus la validarea funcțiilor atribuite în etapa de proiectare a fiecărui sistem propus.

C.2. Contribuții originale

Rezultatele prezentate în cadrul tezei constituie într-o majoritate covârșitoare contribuții originale ale autorului, confirmate în cadrul unor publicații științifice, prezentate la conferințe științifice, prin intermediul brevetelor de invenție, precum și prin intermediul sistemelor mecatronice realizate fizic (vezi capitolele **C.3**, **C.4** și **C.5**). Aceste contribuții originale vor fi prezentate succint în cadrul subcapitolului curent.

- Motivarea importanței subiectului ales:
 - Descrierea cadrului actual și a cerințelor antrenamentului de performanță la Arte Marțiale
 - Sinteze din literatura de specialitate în legătura cu:
 - Sistemele optice utilizate în procesul de analiză a mișcării
 - Sistemele mecano-electrice utilizate în procesul de analiză a mișcării
 - Sistemele magnetice utilizate în procesul de analiză a mișcării
 - Sistemele acustice utilizate în procesul de analiză a mișcării
 - Sistemele inerțiale utilizate în procesul de analiză a mișcării
- Testarea funcțiilor sistemului mecatronic inerțial de analiză a mișcării Xsens MVN și evidențierea limitărilor acestuia
- Proiectarea și realizarea fizică a unui sistem de calibrare, utilizat pentru realizarea și menținerea posturii și a deplasării, impuse în cadrul sesiunilor de analiză a mișcării, realizate cu ajutorul sistemelor mecatronice inerțiale. Ideea acestui sistem mecatronic a plecat de la necesitatea realizării unei calibrări de nivel superior, al sistemelor mecatronice inerțiale de analiză a mișcării. Acesta a fost conceput pentru a răspunde cerințelor de bază privind postura și deplasarea, impuse în cadrul etapei de calibrare a sistemelor inerțiale de analiză a mișcării. De asemenea, datorită modului în care a fost proiectat, pe lângă funcțiile de bază, sistemul în discuție va permite și verificarea simetriei de poziționare a MEMS-urilor sistemelor inerțiale de analiză a mișcării, în raport cu planul sagital al utilizatorului și de asemenea acesta va putea fi utilizat pentru verificarea repetabilității sistemelor inerțiale de analiză a mișcării.
- Proiectarea și realizarea fizică a unui sistem mecatronic inteligent utilizat în antrenamentul de performanță la Arte Marțiale, pentru dezvoltarea controlului neuromuscular/echilibrului dinamic și static, a forței și anduranței membrilor inferioare și a mobilității articulațiilor coxo-femorale, ale sportivilor. Proiectarea acestuia a avut la bază necesitatea înlocuirii un partener uman în realizarea unor exerciții destinate antrenamentului sportivilor, în așa fel încât să se poată fi îndeplinite toate cerințele specifice ale acestora, fapt care va conduce la realizarea saltului calitativ cerut de pregătirea sportivă de performanță, precum și la reducerea riscului de accidentare a sportivului în cauză.
- Proiectarea și realizarea fizică a unui sistem mecatronic inteligent utilizat în antrenamentul de performanță la Arte Marțiale, pentru monitorizare în timp real și autocorecție posturală activă. Proiectarea acestui sistem mecatronic a avut la bază necesitatea realizării unei recuperări fizice și mentale corespunzătoare, nu doar în timpul antrenamentelor specifice, cât și în afara acestuia, sporind astfel viteza de recuperare fizică a utilizatorului. Utilizarea în mediul civil a sistemului în discuție, permite și redirecționarea unei porțiuni din timpul alocat recuperării, în cadrul planului de pregătire sportivă, către activitatea efectivă de pregătire. Acest sistem mecatronic va permite o reeducare a sistemului neuromuscular al sportivului implicat, astfel încât, la finalul utilizării acestuia, acțiunea de corecție posturală să devină un gest reflex.
- Testarea funcționării sistemelor proiectate și realizate fizic, menționate mai sus. În cadrul acestei activități au fost puse la punct metodele și procedeele necesare realizării unei evaluări obiective a funcționalității sistemelor realizate fizic, a căror destinație o reprezintă îmbunătățirea procesului de analiză a mișcării, dezvoltarea parametrilor motrici ai sportivilor, precum și monitorizarea și corecția posturală a acestora.

C.3. Perspective de dezvoltare a cercetărilor privind sistemele mecatronice inteligente utilizate în antrenamentul de performanță la Arte Marțiale, pentru corectarea biomecanicii mișcărilor și reducerea riscului de accidentare în cadrul antrenamentelor

În urma analizei rezultatelor obținute în cadrul cercetărilor întreprinse și prezentate în această teză de doctorat, s-au desprins o serie de concluzii care au permis conturarea câtorva direcții și perspective posibile în ceea ce privește sistemele mecatronice inteligente utilizate în antrenamentul de performanță la Arte Marțiale, pentru corectarea biomecanicii mișcărilor și reducerea riscului de accidentare în cadrul antrenamentelor. Dintre aceste direcții și perspective, cele mai evidente sunt următoarele:

- dezvoltarea cercetărilor privind modul în care pot fi integrate sistemele mecatronice inteligente în cadrul antrenamentelor, atât pentru reducerea riscului de accidentare cât și pentru optimizarea procesului de pregătire sportivă pentru înalta performanță;
- continuarea cercetărilor privind sursele generatoare de accidente în cadrul antrenamentelor în artele marțiale și identificarea metodelor și modalităților de eliminare ale acestora;
- efectuarea unor cercetări suplimentare privind integrarea sistemelor de realitate virtuală și realitate augmentată în cadrul antrenamentelor la Arte Marțiale;
- din punct de vedere al biomecanicii mișcărilor, se dorește realizarea unor cercetări în scopul determinării unui set complet, standardizabil, de teste în urma cărora să poată fi determinate cu precizie, nu doar problemele legate de biomecanica mișcărilor, ci și sursele de proveniență ale acestora.
- din punctul de vedere al sistemului de calibrare, destinat utilizării în cadrul etapei de calibrare a sistemelor mecatronice inerțiale de analiză a mișcării, pentru realizarea și menținerea posturii și a deplasării, impuse, se dorește continuarea cercetărilor pentru optimizarea sistemului în discuție, cu scopul obținerii unui nivel de portabilitate superior și a unei ușurințe sporite în utilizare;
- din punctul de vedere al sistemului mecatronic inteligent utilizat în antrenamentul de performanță la Arte Marțiale, pentru dezvoltarea controlului neuromuscular/echilibrului dinamic și static, a forței și duranței membrelor inferioare și a mobilității articulațiilor coxo-femorale, ale sportivilor, se dorește continuarea cercetărilor pentru optimizarea sistemului în discuție, cu scopul realizării unui produs superior din punct de vedere calitativ, care să permită și un anumit nivel de independență/autonomie energetică și un preț de cost redus;
- din punctul de vedere al sistemului mecatronic inteligent utilizat pentru monitorizare în timp real și autocorecție posturală activă, se dorește continuarea cercetărilor pentru optimizarea sistemului în discuție, cu scopul de a permite realizarea unui produs superior din punct de vedere calitativ, cu un gabarit redus semnificativ, care să-i permită încadrarea în categoria sistemelor perfect integrabile în mediului sportiv, dar și în mediul casnic și cel lucrativ.

Bibliografie selectivă (extrasă dintr-un total de 189 referințe)

- [1] *Clements John*, A Short Introduction to Historical European Martial Arts, Meibukan Magazine, special edition No.1, pp. 2–4, January 2006;
- [2] *J. R. Svinth*, A Chronological History of the Martial Arts and Combative Sports. Electronic Journals of Martial Arts and Sciences, 2002;
- [3] *Terence Dukes*, The Bodhisattva Warriors : The Origin, Inner Philosophy, History, and Symbolism of the Buddhist Martial Art within India and China, Weiser Books, 01 June 1994;
- [4] *Donn F Draeger, Robert W Smith*, Comprehensive Asian Fighting Arts, Kodansha International, Tokyo, 1980;
- [5] *Salvatore Canzonieri*, History of Chinese Martial Arts: Jin Dynasty to the Period of Disunity, Han Wei Wushu, Volume 3, Issue 9, February-March 1998;
- [6] *Ibid.*, The Emergence of the Chinese Martial Arts, Han Wei Wushu Newsletter, Issues 32, Article 18, October-December 1997;
- [7] *Salvatore Canzonieri*, The Roots of Traditional Chinese Martial Arts - Empty Hand Boxing, Han Wei Wushu Newsletter, issues 30, Article 16, June-July 1997;
- [8] *Bin Bu, Han Haijun, Liu Yong, Zhang Chaohui, Yang Xiaoyuan, Maria Fiatarone Singh*, Effects of martial arts on health status: A systematic review, Journal of Evidence-Based Medicine, Volume 3, Issue 4, 15 November 2010;
- [21] *Chris Demorest, Rebecca A.*, Participation and Injury in Martial Arts, Koutures, Current Sports Medicine Reports, Volume 17, Issue 12, pp. 433-438, December 2018;
- [22] *R. B. Birrer, S. P. Halbrook*, Martial arts injuries. The results of a five year national survey, Sportverletz Sportschaden, The American Journal of Sports Medicine, Volume 16, Issue 4, pp.408-410, Jul-Aug 1988;
- [23] *U. Jäggi, C. P. Joray, Y. Brülhart, E. Luijckx, S. Rogan*, Injuries in the Martial Arts Judo, Taekwondo and Wrestling - A Systematic Review, Volume 29, Issue 4, pp. 219-225, 21 Dec. 2015;
- [24] *Rebecca A. Demorest, Chris Koutures and COUNCIL ON SPORTS MEDICINE AND FITNESS*, Youth Participation and Injury Risk in Martial Arts, PEDIATRICS, Volume 138 , number 6 , December 2016;
- [25] *R. B. Birrer, S. P. Halbrook*, American Journal of Sports and Medicine, Martial arts injuries. The results of a five year national survey, Volume 16, Issue 4, pp. 408-410, Jul-Aug 1988;
- [26] *Pappas E.*, Boxing, wrestling, and martial arts related injuries treated in emergency departments in the United States, 2002-2005, Journal of Sports Science and Medicine, Volume 6, pp. 58–61, 21 Oct 2007;
- [28] <https://tracklab.com.au/products/brands/phasespace-motion-capture/phasespace-impulse-x2e-motion-capture-system/attachment/phasespace-impulse-x2-motion-capture-system-3/>
- [34] <https://metamotion.com/gypsy/gypsy-motion-capture-system-workflow.htm>
- [35] *Alexander Gmiterko, Tomáš Lipták*, Motion Capture of Human for Interaction with Service Robot, American Journal of Mechanical Engineering, Volume 1, Issue 7, pp. 212-216, 2013;
- [37] <https://www.xsens.com/>
- [64] *Cristian Radu Badea*, Researches on inertial mechatronic motion analysis systems, based on mems”, The Scientific Bulletin of VALAHIA University, MATERIALS and MECHANICS, Volume 16, Issue 15, Targoviste 2018, ISSN 1844-1076;
- [65] *Cristian Radu Badea*, Study on the influence of contact points, scenarios and graphical reference elements on the motion analysis process, carried out using the inertial mechatronic system mvn analyze, International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics, Volume 2, Issue 6, pp. 74-81, 2019;
- [75] *Kathrin Freyler, Albert Gollhofer, Ralf Colin, Uli Brüderlin, Ramona Ritzmann*, Reactive Balance Control in Response to Perturbation in Unilateral Stance: Interaction Effects of Direction, Displacement and Velocity on Compensatory Neuromuscular and Kinematic Response, Plose One, December 17, 2015;
- [107] <https://simplifaster.com/articles/athlete-posture-sports-performance/>
- [108] <https://kararainahblog.wordpress.com/2016/04/06/postural-kyphosis/>
- [187] *Manju Gopinath, Angeline Kirubha*, Real Time Monitoring of Posture to Improve Ergonomics, Journal of Biomedical Engineering and Medical Imaging, Volume 2, pp 22-25, April 2015;
- [188] <https://www.backtosport.com.au/blogs/product-guides/upright-pro-posture-trainer-australian-review>
- [189] <https://www.wearable.com/wearable-tech/truposture-reminds-you-to-sit-up-straight-1762>

ANEXE

A.1. Lista lucrărilor publicate

Pe parcursul studiilor doctorale, rezultatele cercetărilor întreprinse au fost diseminate prin publicarea mai multor articole, în reviste de specialitate indexate BDI și alte baze de date, precum și prin participarea la diverse conferințe internaționale din domeniu. În cele ce urmează este prezentată lista publicațiilor științifice realizate în calitate de prim autor și coautor și asociate cu tema tezei doctorale.

1. *Mugur Spirescu, Sergiu Dumitru, Alexandru Constantinesu, Cristian Radu Badea*, Human – robots safe cooperation in an integrated approach, International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics, Issue 2 January 2017.
2. *Cristian Radu Badea*, Researches on inertial mechatronic motion analysis systems, based on mems”, The Scientific Bulletin of VALAHIA University , MATERIALS and MECHANICS, Volume 16, Issue 15, pp. 44–50, Targoviste 2018, ISSN 1844-1076.
3. *Cristian Radu Badea, Sorin Ionut Badea*, The positioning errors generated by Xsens MVN inertial system during the analysis of „push-ups” exercise, using the „single level” scenario, before and after the calling of „reprocess” function, International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics, Issue 4, 2018.
4. *Cristian Radu Badea*, Study on the influence of contact points, scenarios and graphical reference elements on the motion analysis process, carried out using the inertial mechatronic system MVN Analyze, International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics, Volume 2, Issue 6, pp. 74-81, 2019.
5. *Cristian Radu Badea, Paul-Nicolae Ancuța, Sergiu Dumitru, Anghel Constantin, Nicușor Nicolae*, Conceptual Model and Proof of Concept for a Complex Mechatronic System Used in Neuromuscular Control Training, Proceedings of the International Conference of Mechatronics and Cyber- MixMechatronics, pp. 90-99, 18 July 2020
6. *Cristian Radu BADEA, Octavian DONȚU, Gheorghe I. GHEORGHE*, Using the method of determining the variation of the length of the stretched chord, as a means of monitoring the postural changes of the athletes spine, U.P.B. Scientific Bulletin, Series D, Vol. 83, Iss. 3, 2021, ISSN 1454-2358.

A.2. Lista cererilor de brevet de invenție depuse și a rapoartelor științifice elaborate

Pe lângă lucrările științifice publicate, pe perioada studiilor doctorale a fost depus un număr de cereri de brevet, a fost elaborata o serie de rapoarte științifice și au fost puse bazele unui nou laborator care își propune să extindă domeniile de expertiza ale INCDMTM-București. În cele ce urmează este prezentată lista cererilor de brevet depuse și lista rapoartelor științifice elaborate, asociate cu tema tezei doctorale.

• Brevete de invenție

1. *Cristian Radu Badea*, Device used for maintaining and / or improving the mobility of coxo-femoral joints, Patent number RO 125003 B1, published on 30/08/2012.
2. *Iulian Vasile, Cristian Radu Badea*, Tightness system, Patents application number A /2015 00775/29.10.2015, published on BOPI no. 4/ 28.04.2017.
3. *Iulian Vasile, Cristian Radu Badea*, Translation unit, Patents application number A/00372/25.05.2018 ,published on BOPI no. 4/ 28.04.2017.
4. *Cristian Radu Badea*, Device for the correct realization and support, by a human user, of the posture and displacement necessary for the calibration of inertial motion analysis systems, Patents application number A/00107/19.02.2019, published on BOPI no. 8/ 28.08.2020.

5. *Cristian Radu Badea*, Device for the development of neuromuscular control / dynamic and static balance, of the strength and endurance of the lower limbs and of the mobility of the coxo-femoral joints, of the athletes, Patents application number A / 00889/31.10.2017, published on RO-BOPI 4/2019 - 30.04.2019.
6. *Cristian Radu Badea*, Device for real-time monitoring and active postural autocorrection, Patents application number A/2019 00398/01.07.2019, published on BOPI no. 8/ 28.08.2020 and European Patent Application EP 3 760 170 A1, January 6, 2021, published on 06.01.2021 - Bulletin 2021/01.

- **Rapoarte științifice**

1. *Cristian Radu Badea*, Studiu tehnic de documentare privind principiile și metodele utilizate pentru analiza și monitorizarea mișcărilor corpului uman, Cercetări privind aplicarea sistemelor mecatronice complexe în monitorizarea și analiza mișcărilor corpului uman, Programul-Nucleu cu denumirea: Ingineria mecatronicii inteligente și sisteme cyber-mecatronice/imisc-m, 2018-2020
2. *Cristian Radu Badea*, Studiu tehnic de analiză a domeniilor de aplicare pentru sistemele mecatronice complexe de monitorizare și analiză a mișcărilor corpului uman, Cercetări privind aplicarea sistemelor mecatronice complexe în monitorizarea și analiza mișcărilor corpului uman, Programul-Nucleu cu denumirea: Ingineria mecatronicii inteligente și sisteme cyber-mecatronice/imisc-m, 2018-2020
3. *Cristian Radu Badea*, Studiu cu experimentări privind arhitecturile constructive utilizate în cadrul sistemelor mecatronice complexe de monitorizare și analiză a mișcărilor corpului uman, Cercetări privind aplicarea sistemelor mecatronice complexe în monitorizarea și analiza mișcărilor corpului uman, Programul-Nucleu cu denumirea: Ingineria mecatronicii inteligente și sisteme cyber-mecatronice/imisc-m, 2018-2020
4. *Cristian Radu Badea*, Proiectare model experimental de sistem mecatronic complex pentru monitorizare și analiză a mișcărilor corpului uman, Cercetări privind aplicarea sistemelor mecatronice complexe în monitorizarea și analiza mișcărilor corpului uman, Programul-Nucleu cu denumirea: Ingineria mecatronicii inteligente și sisteme cyber-mecatronice/imisc-m, 2018-2020
5. *Cristian Radu Badea*, Realizare model experimental de sistem mecatronic complex pentru monitorizare și analiză a mișcărilor corpului uman, Cercetări privind aplicarea sistemelor mecatronice complexe în monitorizarea și analiza mișcărilor corpului uman, Programul-Nucleu cu denumirea: Ingineria mecatronicii inteligente și sisteme cyber-mecatronice/imisc-m, 2018-2020

- **Alte mențiuni**

Înființarea *Laboratorului de măsurări și explorări funcționale, dinamice, non-invazive, utilizând tehnologii senzoriale inteligente, biointegrabile, avansate -L3-MEF* în cadrul PNCDI3/ Programul 1. Dezvoltarea sistemului național de cercetare –dezvoltare, Subprogramul 1.2. Performanță instituțională, Proiect - „Dezvoltarea instituțională a INCDMTM pentru creșterea capacității și performanței în vederea susținerii excelenței în cercetare - dezvoltare - inovare pe termen scurt și mediu” - Acronim EXCEL-MECATRON, 2018-2021.