

**UNIVERSITATEA DIN PITEȘTI - IOSUD  
ȘCOALA DOCTORALĂ ÎN DOMENIUL  
ȘTIINȚA SPORTULUI ȘI EDUCAȚIEI FIZICE**



**REZUMAT  
TEZĂ de DOCTORAT**

**Doctorand,  
Nistorescu Alexandru-Ion**

**Conducător științific,  
Prof. Univ. Dr. Pierre  
Joseph de Hillerin**

**2020**

**UNIVERSITATEA DIN PITEȘTI - IOSUD  
ȘCOALA DOCTORALĂ ÎN DOMENIUL  
ȘTIINȚA SPORTULUI ȘI EDUCAȚIEI FIZICE**



**TEHNICI ȘI METODE DE EVALUARE NEINVAZIVĂ A  
CALITĂȚILOR MECANICE PASIVE ALE MUSCULATURII  
STRIATE LA COSMONAUȚI ȘI SPORTIVI DE  
PERFORMANȚĂ**

**Doctorand,  
Nistorescu Alexandru-Ion**

**Conducător științific,  
Prof. Univ. Dr. Pierre Joseph de Hillerin**

**Comisia de îndrumare:  
Prof univ dr. Liliana Mihăilescu Univ Pitești  
Prof univ dr. Marian Crețu Univ din Pitești  
Conf. univ dr. Daniel Roșu Univ din Pitești**

**2020**

# Partea 1: Aspecte teoretice și metodologice generale în contextul tezei

## CAPITOLUL 1 MOTIVAREA ALEGERII TEMEI

### a. Introducere

Ca tânăr biofizician, am avut șansa să lucrez în Institutul de Științe Spațiale (ISS) și, mai mult decât atât, într-un laborator ce are menirea de a studia și elabora măsuri care să diminueze, anticipativ, sincron sau corectiv efectele lipsei de gravitație din timpul zborurilor extraterestre.

Pentru a preciza încadrarea tezei între tipurile de teze de doctorat existente, menționez faptul că mi-am propus să obțin, prin intermediul tehnologiei dezvoltate, date despre calitățile mecanice ale musculaturii striate în condiții diferite de solicitare sau de afectare. În final, pot spune că teza se încadrează în clasa cercetărilor descriptive și reprezintă o etapă premergătoare realizării și verificării unor căi de intervenție corectivă în influențarea prezervării și/sau recuperării unei stări fiziologice normale ale țesutului muscular striat.

### b. Importanța musculaturii striate în realizarea performanței umane

Conform unei definiții date de Hillerin, Văleanu V. și Dop R., performanța umană reprezintă „capacitatea persoanei, ca unitate și entitate biologică, de a face față, de a se adapta, la condiții deosebite, condiții care depășesc "parametrii funcționali" pentru care omul este condiționat ontologic și genetic.” (Hillerin, f. a.).

### c. Identificarea necesităților de investigare pentru sportivi de performanță în antrenament și recuperare

Dat fiind faptul că sportul de performanță este un domeniu în care frecvența accidentărilor este ridicată, iar țesutul muscular este cel mai afectat, am fost pus în situația de a remarca faptul că, în urma accidentărilor, apar lungi perioade de imobilizare sau de diminuare a volumului și intensității contracțiilor musculare.

### d. Identificarea necesităților de investigare în patologii de natură neuromotorie.

Dacă tot m-am orientat către recuperare, am descoperit că există situații în care diminuarea calităților musculare menționate anterior apare în patologia neuronală, în special de tip AVC, unde se discerne un domeniu de studiu generat chiar de această patologie, în care componentele psiho-neuro-motrice produc asimetrii importante, observabile inclusiv în studiul tonusului, elasticității și capacității de amortizare.

### e. Identificarea necesităților de investigare pentru cosmonauți

Rezultatele preliminare obținute în cadrul proiectului STARWALKER<sup>1</sup> ne-au permis să postulăm că acest tip de cunoștințe ar putea fi utile în monitorizarea stării fiziologice musculare în zborurile spațiale de lungă durată.

În timpul zborului spațial, pot apărea schimbări, deja cunoscute, la nivelul sistemelor musculo-scheletal, cardiovascular, neurologic, imunitar, respirator, oftalmic și hormonal.

### f. Efecte ale microgravitației asupra musculaturii.

În microgravitație, atât în cea simulată, cât și în cea reală musculatura posturală la oameni și la animale suferă atrofie. Studiile desfășurate, arată că în general fibrele care suferă sunt cele lent oxidative ale căror proprietăți mecanice încep să semene cu cele rapid oxidative. (Pampero, 2003)

### g. Transformări ale manifestărilor musculaturii striate în cursul misiunilor spațiale.

---

<sup>1</sup> STARWALKER – Centrul de Competență în Tehnologii Spațiale dezvoltat în cadrul Laboratorului de Aplicații Spațiale pentru Sănătatea și Securitatea Persoanei din Institutul de Științe Spațiale

Deși deteriorarea funcțiilor musculo-scheletale nu reprezintă un pericol imediat nici pentru sănătate nici pentru misiunea propriu-zisă, în cadrul misiunilor spațiale de lungă durată, dacă nu sunt contracarate, efectele microgravitației pot deveni probleme serioase la întoarcerea pe Terra.

#### **h. Efecte consecutive pierderii de masă și tonus muscular**

Schimbările determinate de lipsa forței gravitaționale provoacă reacții în lanț în organismul uman, apărând schimbări structurale ca: Demineralizarea scheletală, Decon condiționare, atrofie și schimbări structurale ale sistemului muscular, Probleme în coordonarea mișcării, postură, locomoție; Decon condiționare cardiovasculară; Scăderea rezistenței la încărcare pe verticală (gravitațională) (Kozlovskaya, 2015).

#### **i. Probleme musculare la cosmonauți și funcționarea musculaturii în condiții de microgravitație.**

În timpul zborului spațial, o mulțime de modificări apar în organismul uman, fiind afectate sisteme ca cel musculo-scheletal, neurologic, cardiovascular, imunitar, respirator, oftalmic dar și cel hormonal. Aceste schimbări trebuie documentate și abordate în mod corespunzător pentru a menține starea de sănătate și performanțele echipajului pentru ca misiunea să se poată desfășura în condiții de siguranță.

### **CAPITOLUL 2 DEZVOLTAREA OPTIMĂ A MUSCULATURII LA SPORTIVII DE PERFORMANȚĂ ȘI ASTRONAUȚI ÎN FUNCȚIE DE SPECIFICITATEA EFORTULUI**

#### **a. Calitățile motrice & psihomotrice și componenta lor musculară**

Conform G. Mareș există caracteristici individuale, care stau la baza abilității omului de a efectua mișcări, denumite generic calități motrice. Studiile efectuate asupra capacității motrice a unui individ au urmărit să caracterizeze nivelul de dezvoltare a următoarelor aptitudini motrice: forța, viteza, rezistența și coordonarea (mobilitate, îndemânare). Același studiu definește capacitatea motrică a unui individ ca fiind „o reacție complexă la stimulii ambianței” ce include atât aptitudinile motrice cât și cele psihomotrice, deși este greu de făcut o distincție clară între cele două (Mareș, 2012).

#### **b. Specificitate în manifestarea calităților motrice în sportul de înaltă performanță**

Principiul specificității subliniază că antrenamentul trebuie să meargă de la foarte general la foarte specific, iar pentru a deveni mai bun în realizarea unui exercițiu trebuie să efectuezi acel exercițiu. Antrenamentul trebuie să fie specific nu doar din punct de vedere al sportului practicat, dar și din punct de vedere al abilităților personale (Quinn, 2016).

#### **c. Necesitatea dezvoltării metodelor de investigare a calităților mecanice ale musculaturii striate în sportul de performanță.**

Oportunitățile de dezvoltare pentru aceste metode în sportul de performanță sunt vaste prin crearea unor metode obiective și ușor de folosit, care să poată fi folosite într-o cazuistică extinsă, plecând de la investigații în timpul antrenamentelor sau de la un antrenament la altul, până la investigații în cazul atrofiei induse de imobilizarea unui membru ca urmare a unei accidentări.

#### **d. Necesitatea dezvoltării metodelor de investigare a calităților mecanice ale musculaturii striate în condiții de microgravitație**

Pierderea de masă musculară și osoasă rezultată din lipsa încărcării gravitaționale reprezintă o preocupare majoră în mediul spațial.

Conform rapoartelor efectuate după zborurile spațiale, astronautii menționează că o pauză de 7-10 zile de la antrenamentul fizic duce la o senzație de deteriorare rapidă a calităților fiziologice, iar timpul de recuperare este mult mai lung decât pauza de la antrenament (Kozlovskaya, 2015).

### **CAPITOLUL 3. METODE DE INVESTIGARE A CALITĂȚILOR MECANICE ALE MUSCULARII STRIATE.**

#### **a. Direcții de studiu și metode de investigare ale calităților musculaturii striate**

Pentru evaluarea calităților musculare sunt folosite mai multe metode, în funcție de proprietățile musculare vizate. Astfel că pot fi studiate manifestările electrice, termice, biofizice, mecanice sau proprietăți ca raportul de fibre, sau forța musculară. Metodele folosite pentru aceste caracterizări sunt numeroase (bilanțul muscular, electromiografie, ultrasonografie, metoda Kitov, MiotonPro, etc.), iar o comparație între acestea se poate observa în subcapitolul următor.

**Tabel 1. Studiu comparativ al metodelor de analiză musculară identificate**

| Nr. Crt. | Dispozitiv/Metodă                                 | Tipul metodei | Aplicabilitate în spațiu                             | Tip de caracterizare | Mușchi vizați                                                                            | Observații                                            |
|----------|---------------------------------------------------|---------------|------------------------------------------------------|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 1.       | Bilanțul Muscular (Farago M., 2008)               | Non-invazivă  | Posibilă                                             | Subiectivă           | Grupe musculare mari                                                                     | Duce la interpretări greșite                          |
| 2.       | Tehnica de eliberare rapidă (Lambertz D., 2000)   | Non-invazivă  | Posibilă                                             | Subiectivă           | Mușchi flexori plantari                                                                  | Puține grupe musculare vizate                         |
| 3.       | Tehnica oscilațiilor libere (Wilson G. J, 1991)   | Non-invazivă  | NU (bazată pe gravitație)                            | Obiectivă            | Musculatura membrelor inferioare                                                         | Este limitată de modul ”brut” de modelare a datelor   |
| 4.       | Electromiografia de suprafață (Criswell, 2011)    | Non-invazivă  | Posibilă                                             | Obiectivă            | Limitată la un singur mușchi pentru un singur electrod                                   | Date incomplete din caracterizarea unui singur mușchi |
| 5.       | Electromiografia de profunzime (R., 2004)         | Invazivă      | NU                                                   | Obiectivă            | Mușchi aflați în profunzime                                                              | Metodă invazivă                                       |
| 6.       | Ultrasonografie (Kubo K., 2005)                   | Non-invazivă  | Posibilă                                             | Obiectivă            | Structuri superficiale                                                                   | Limitată în evaluările de elasticitate                |
| 7.       | Miotonometrie (Obercean, 2017)                    | Non-invazivă  | NU (Bazată pe gravitație)                            | Obiectivă            | Structuri superficiale                                                                   | Oferă informații despre tonus                         |
| 8.       | Elastografie magnetică de rezonanță (Heers, 2003) | Non-invazivă  | NU (Aparat dimensiuni mari și consumator de energie) | Obiectivă            | Orice grupe musculare                                                                    | Informații despre rigiditatea țesutului               |
| 9.       | MyotonPRO (Schneider S. e. a., 2014)              | Non-invazivă  | DA                                                   | Obiectivă            | Majoritatea grupelor musculare (în acest moment acces numai la musculatura de suprafață) | Informații complexe într-un punct pe musculatură      |

**Tabel 2. Analiza dispozitivului MusTone.**

|            |                |                     |           |                  |                                                                                                 |                                                                                                      |
|------------|----------------|---------------------|-----------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>10.</b> | <b>MusTone</b> | <b>Non-invazivă</b> | <b>DA</b> | <b>Obiectivă</b> | <b>Majoritatea grupelor musculare (în acest moment acces numai la musculatura de suprafață)</b> | <b>Caracterizare atât în punctul de aplicare a impulsului cât și propagarea semnalului în mușchi</b> |
|------------|----------------|---------------------|-----------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Dispozitivul dezvoltat are un grad mare de aplicabilitate atât în aplicații terestre, cât și spațiale, fiind extrem de util atât în conducerea și controlul antrenamentului în sportul de performanță, cât și pentru intervenții terapeutice, sau aplicații spațiale

#### **b. Clasificarea tipurilor de contramăsuri**

Există o mulțime de definiții pentru termenul de contramăsuri la efectele adverse ale zborului spațial prelungit, acestea fiind o componentă indispensabilă misiunilor spațiale, componentă ce permite echipajului să își îndeplinească cu succes sarcinile. Deși o mulțime de afectări complexe intervin în timpul zborului ca răspuns la condițiile de microgravitație, contramăsurile vizează acele schimbări fiziologice care amenință finalizarea misiunii sau funcționarea individului la întoarcerea pe Terra.

#### **Soluții folosite până în prezent**

Contramăsurile la zborul spațial cu echipaj uman se împart în 2 mari categorii: contramăsuri de antrenament fizic, printre care amintim ergometrul ciclic, dispozitiv de antrenament rezistiv, sau banda de alergare, metode pentru care este nevoie de un dispozitiv de analiză a evoluției proprietăților musculare și contramăsuri psihologice ce vizează starea emoțională a astronautilor și prevenirea suprasolicitării (Manzey, 1995).

## **CAPITOLUL 4 CONCLUZII ÎN URMA ANALIZEI LITERATURII DE SPECIALITATE.**

Este ușor de observat că o metodă neinvazivă de investigare a caracteristicilor țesutului muscular striat cu aplicabilitate în domenii diferite este necesară atât din punctul de vedere al antrenamentului sportiv de performanță, cât și pentru domeniul spațial și reprezintă o perspectivă importantă în domeniul de recuperare medicală.

Atât în sportul de performanță cât și în domeniul spațial este nevoie de o metodă complexă care să ofere o caracterizare a unor aspecte funcționale, dar și a proprietăților mecanice ale musculaturii striate, care să răspundă cerințelor de neinvazivitate și de ușurință în folosire.

## **PARTEA A 2-A: STUDIU PRELIMINAR – CONTRIBUȚIE ORIGINALĂ**

### **CAPITOLUL 5 SCOP, IPOTEZE SI OBIECTIVE ALE STUDIULUI PRELIMINAR.**

**Scopul** acestui studiu preliminar a fost de a pune bazele unui dispozitiv și a unei metodologii de analiză musculară ce intenționează să ofere o caracterizare în profunzime a proprietăților mecanice musculare.

**Ipoteza** cercetării este că, prin rezultatele obținute, folosind tehnologii disponibile pe piață, putem crea un dispozitiv de analiză musculară, iar informațiile furnizate de acest dispozitiv pot evidenția diferențe cantitative și calitative ale comportamentului țesutului muscular din punct de vedere mecanic.

**Obiectivele** studiului preliminar:

1. Generarea unei/unor soluții tehnice pentru măsurarea răspunsului mecanic muscular;
2. Crearea și verificarea unui model funcțional pentru testare în laborator;
3. Îmbunătățirea dispozitivului de investigare a calităților mecanice musculare;
4. Stabilizarea concluziilor privitoare la funcționarea dispozitivului și schițarea elementelor de metodologie de utilizare pentru faza experimentelor de bază.

## CAPITOLUL 6 PREZENTAREA UNUI EXPERIMENT ÎNȚĂL.

Momentul de început pentru testarea ipotezei, respectiv posibilitatea de evidențiere a unor calități mecanice ale musculaturii striate a fost realizată utilizând electromiograful Trigno™ Wireless EMG (Figura 1) cu senzori de accelerometrie aplicați pe suprafața pielii și aplicarea unui impuls mecanic (excitație) scurt și moderat.



Figura 1. Dispozitiv Trigno și mod de aplicare accelerometre pe piele (Delsys, 2017)

Analiza datelor a constat în observarea și analiza calitativă și cantitativă a diferențelor între parametrii observabili pe cele 16 accelerometre în urma aplicării unui impuls mecanic în centrul zonei investigate.

## CAPITOLUL 7 PRINCIPIUL METODOLOGIEI DE INVESTIGARE

Metodologia de investigație folosită a vizat plasarea senzorilor de accelerație în lungul fibrei musculare pentru a putea fi observată propagarea semnalului

Dispozitivul MusTone își propune evaluarea funcțională a musculaturii striate, de o manieră slab invazivă, prin monitorizarea răspunsului mecanic al diferiților mușchi la excitări de natură mecanică.

Cu ajutorul dispozitivului, țesutul muscular este excitat printr-o percuție controlabilă ca formă și durată, perpendiculară pe direcția fibrei musculare. Semnalul de accelerație este achiziționat de la accelerometrul asociat cu percutorul precum și de la accelerometrele de măsurare plasate de-a lungul fibrei musculare. Semnalele astfel înregistrare oferă informații despre cum se propagă perturbația mecanică de-a lungul fibrei musculare.

## CAPITOLUL 8 PREZENTAREA ETAPELOR DEZVOLTĂRII APARATURII ȘI METODEI DE INVESTIGARE A RĂSPUNSULUI MECANIC AL MUSCULATURII LA STIMULARE MECANICĂ.

În urma experimentelor realizate, dispozitivul a suferit o serie de modificări și optimizări de-a lungul a 5 configurații diferite, astfel încât rezultatele obținute să fie relevante din punct de vedere al erorilor experimentale. Configurația folosită în experimentele finale poartă denumirea generică Configurația 5 și este alcătuită dintr-o placă de bază care conține conectorii pentru accelerometre, conectorul de alimentare precum și modulul procesorului, un piston de aplicare al impulsului precum și un convertor pentru a permite alimentarea de la PC sau baterii (Figura 2).





Figura 2. Dispozitiv MusTone

## CAPITOLUL 9 CARACTERIZAREA DISPOZITIVULUI MUSTONE FOLOSIT ÎN CONFIGURAȚIA 5

### a. Caracterizarea dispozitivului MusTone din punct de vedere al rezultatelor obținute

Completând tabelul 2 de comparații între dispozitive am simțit nevoia de a caracteriza echipamentul și metoda dezvoltate, astfel că în tabelul 5 sunt descriși parametrii dispozitivului MusTone.

Tabel 3. Parametrii experimentali setați în cadrul experimentului

| Parametru              | Valoare setată | Unitate de măsură | Observații                                                                   |
|------------------------|----------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Tact achiziție         | 0.2            | ms                | Valorile se înregistrează la fiecare 0.2 ms                                  |
| Timp de acțiune stimul | 10             | ms                | Timpul de aplicare al impulsului                                             |
| Start achiziție        | -5             | ms                | Dacă valoarea este negativă achiziția începe înainte de aplicarea impulsului |
| Timp de achiziție      | 650            | ms                | Fereastra de timp în care se face achiziția                                  |
| Scară                  | $\pm 4g$       | $1g=9.8m/s^2$     | Scara de amplitudine                                                         |

De asemenea, pentru a putea folosi o metodă automată de detectare a maximelor a fost nevoie de folosirea unei metode de filtrare.

### b. Caracterizarea pistonului:

Modulul de aplicare al impulsului a suferit de asemenea câteva modificări de-a lungul timpului, atât tehnice cât și estetice, iar în figura de mai jos se poate observa schema de realizare a configurației finale a acestui modul.

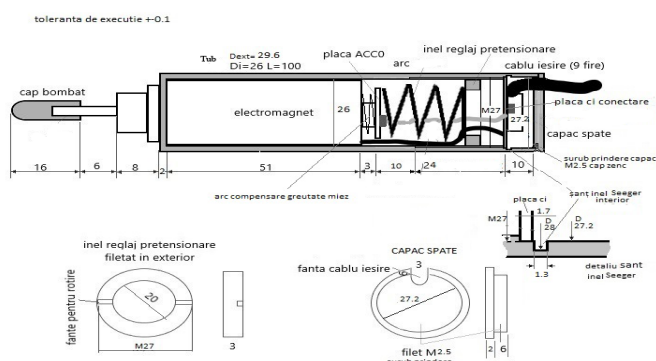


Figura 3. Schema de realizare a modulului de aplicare a impulsului

### c. Caracterizarea programului software de înregistrare și vizualizare a datelor.

Pentru a putea efectua experimentele a fost necesară crearea unei aplicații software atât pentru setarea parametrilor experimentali cât și pentru vizualizarea și salvarea rezultatelor pentru prelucrări ulterioare.

Astfel că, varianta finală de configurație permite o viteză de achiziție de 0.2 ms, pe o perioadă de maxim 650 ms și un număr maxim de 10 accelerometre plasate pe piele și 2 pe pistonul de aplicare a impulsului.

## CAPITOLUL 10 REZULTATE ALE STUDIULUI PRELIMINAR

Scopul principal al acestui studiu preliminar a fost de a observa, prin intermediul testelor și experimentelor efectuate, caracteristicile pe care ar trebui să le îndeplinească un dispozitiv de analiză musculară bazat pe impuls mecanic pentru a putea fi folosit într-o gamă largă de aplicații, de la sportul de performanță la studii clinice și aplicații spațiale.

Primul experiment preliminar a fost realizat folosind Electromiograful Trigno și un impuls mecanic aplicat folosind un pistol Nerf pentru testarea ipotezei. Rezultate obținute sunt prezentate în paragrafele ce urmează.

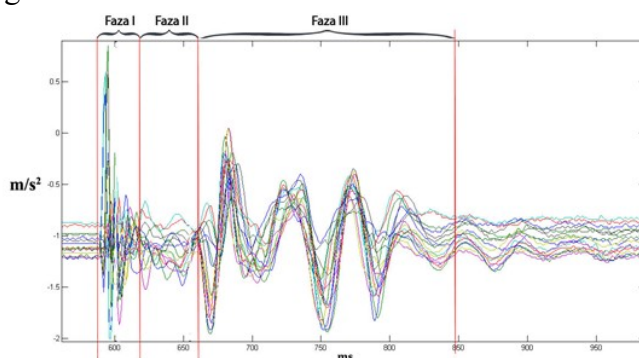


Figura 4. Semnalul normal pe direcția fibrei musculare, neprelucrat înregistrat de la toate cele 16 accelerometre după aplicarea impulsului mecanic (Hillerin, 2016)

Se poate observa, din rezultatele înregistrate la primul impuls aplicat, în stare de relaxare, că semnalul este împărțit în 3 faze cu dinamici extrem de diferite, precedate de starea de accelerație stabilă de dinainte de impuls (Figura 4).

În cadrul celui de-al doilea experiment preliminar major a fost folosită o variantă de prototip MusTone și nu au fost testate variații între mai mulți subiecți, grupele musculare investigate fiind biceps brahial stâng și drept și triceps brahial stâng în stare relaxată și contractată.

S-a urmărit comportamentul muscular ținând cont de trei condiții ce pot afecta dinamica propagării impulsului în mușchi: *grupa musculară, starea de relaxare sau contracție și timpul de aplicare a impulsului (10 sau 100ms)* (Băltoiu A., 2015). Rezultatele au arătat o concordanță în timpul de întârziere în senzorii plasați de-a lungul fibrei musculare precum și o simetrie pe direcțiile distal-proximal.

A urmat din nou o îmbunătățire a dispozitivului și un experiment realizat pe un subiect ce a avut unul din membrele inferioare imobilizat de la genunchi în jos timp de 70 de zile în urma unei fracturi de calcaneu.

Studiul a fost realizat pentru a observa dacă schimbările ce au loc în mușchi după imobilizare pot fi extrase și cuantificate folosind dispozitivul dezvoltat.



Figura 5. Poză experiment cu modul de plasare a accelerometrelor pe mușchiul investigat

S-a observat prezența unei puternice asimetrii în ceea ce privește comportamentul muscularii pe piciorul afectat față de același comportament pe musculatura piciorului neafectat fapt ce poate fi un argument în utilizarea metodei prezentate în evaluarea gradului de modificare a fiziologiei muscularii ca urmare a lipsei de activitate contractilă pentru o perioadă lungă de timp. Diferențele între țesutul sănătos și cel afectat nu sunt spectaculoase, dar sunt observabile (Nistorescu, 2017).

## **CAPITOLUL 11 CONCLUZII ALE STUDIULUI PRELIMINAR ȘI PROPUNERI PENTRU PARTEA EXPERIMENTALĂ**

Urmând intenția noastră de a crea un dispozitiv de analiză miotonometrică a răspunsului muscular precum și o metodologie pentru modelarea proceselor complexe pe care le prezintă mușchiul stimulat cu un impuls mecanic, am prezentat o analiză calitativă, efectuată pe o serie de condiții experimentale diferite. Acestea sunt date atât de versatilitatea subiecților folosiți și de setările parametrilor experimentali cât și de perfecționarea în timp a dispozitivului utilizat.

Dispozitivul creat permite evaluări ale muscularii în și între sesiunile de antrenament, și din informațiile oferite, antrenorul ar putea aprecia intensitatea următorului antrenament pentru a nu afecta starea de sănătate a subiectului.

Consider că scopul studiului preliminar de generator de precizări pentru partea a 3-a ce va conține metodologia de investigare și componenta experimentală a fost îndeplinit.

## **PARTEA A 3-A: ORGANIZAREA ȘI REZULTATELE CERCETĂRII FUNDAMENTALE – CONTRIBUȚIE ORIGINALĂ**

## **CAPITOLUL 12 SCOP, OBIECTIVE, IPOTEZE ALE CERCETĂRII DE BAZĂ**

Așa cum menționam și în Partea 1 a prezentei teze de doctorat, **scopul** tezei îl reprezintă validarea a unui dispozitiv (MusTone) și a metodologiei aferente pentru evaluarea proprietăților muscularii striate, prin studiul propagării perturbației mecanice în mușchi, în utilizări în sport, recuperare medicală și aplicații spațiale.

**Ipoteza** implicită, în faza inițială a demersului de cercetare, dar pe care o explicitez în aceasta parte este că, în condițiile validării funcționării aparaturii create, putem pune în evidență modificări în dinamica caracteristicilor mecanice ale mușchiului la aceeași indivizi în procese de adaptare de naturi diferite (sport, spațiu, recuperare).

O ipoteză particulară este că dinamica propagării răspunsului mecanic oferă un plus de informații despre starea de sănătate a mușchiului, diferențele între regiuni indicând nu doar

eterogenități structurale și caracteristici vâscoelastice normale, dar și neregularități sau modificări ale comportamentului fiziologic așteptat sau normal în condiții terestre.

Principalele **obiective** ale proiectului sunt:

1. Verificarea nivelului de variație al parametrilor mecanici în condiții normale și în condiții de excepție. (spațiu, efort maximal, etc.)
2. Verificarea posibilității de utilizare a dispozitivului dezvoltat pe diferite grupe musculare
3. Verificarea evoluției parametrilor vizați în activitatea sportivă
4. Verificarea utilității aparatului pentru urmărirea în experimente de simulare de microgravitație

### **CAPITOLUL 13. ORGANIZAREA CERCETĂRII DE BAZĂ.**

În cadrul acestei teze, cercetarea este împărțită pe trei direcții, una este orientată pe studiul modificărilor musculare ce apar la sportivi de performanță în urma antrenamentului de forță, cea de-a doua direcție ce vizează problemele musculare care afectează corpul uman în condiții de microgravitație simulată (Dry Immersion), iar cea de-a 3-a existența unor evoluții diferite a parametrilor mecanici pe grupe musculare

Datorită faptului că atât sportivii de performanță cât și astronauții fac parte din categorii aparte considerate excepții, studiul acestora nu permite utilizarea instrumentelor statistice, astfel că ne-am oprit la utilizarea metodologiei studiilor de caz pe care le vom prezenta ulterior

#### **Metodologia de investigare**

Primul pas în investigarea musculară cu dispozitivul MusTone îl reprezintă pregătirea și marcarea zonei de investigat.

Folosind bandă dublu adezivă se fixează accelerometrele pe piele de-a lungul fibrei musculare cum se observă în Figura 7 și se poziționează mușchiul paralel cu solul.

Țesutul muscular este excitat mecanic printr-o percuție controlată ca durată și intensitate, perpendiculară pe fibra musculară, iar semnalul de accelerație este înregistrat și trimis către computer.

#### **Utilizarea dispozitivului în aplicații de sport de performanță**

Pentru a putea observa diferențele în comportamentul muscular folosind dispozitivul creat am identificat posibilitatea de a lucra cu sportivi ce fac parte din lotul național de rugby echipa sub 20 de ani.

Profilul muscular al jucătorilor diferă în funcție de locul pe care aceștia îl ocupă în teren (înaintași și treisferturi), astfel că deși în antrenamentele lor există elemente comune, sunt necesare și antrenamente specifice pentru dezvoltarea individuală.

#### **Rezultate și discuții experiment Lotul Național de Rugby**

Pentru experimentul desfășurat pe sportivi ai lotului național de rugby, setul de date cuprinde 2 subiecți, înainte și după antrenamentul de forță al trenului inferior. Mușchii selectați sunt gastrocnemius și biceps femural analizați doar pe partea dreaptă.

În cadrul acestui studiu au fost folosite două accelerometre plasate pe piele ACC1 proximal și ACC2 distal și un accelerometru pe piston pentru înregistrare în punctul de impact

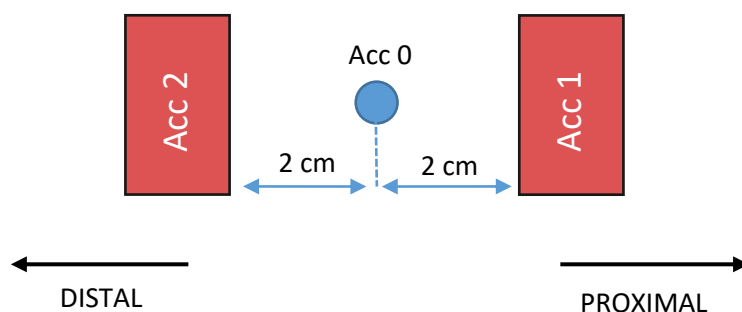


Figura 6. Plasarea accelerometrelor pe piele în experimentul pe sportivi

În cazul primului subiect al experimentului, pe ambele grupe musculare analizate se poate observa o creștere a frecvenței pe burta mușchiului urmată de un comportament diferit pe celelalte accelerometre. Dacă în cazul gastrocnemius valorile de pe accelerometrele extreme rămân neschimbate, pe bicepsul femural se observă o creștere pe accelerometrul plasat proximal și o scădere pe accelerometrul plasat distal.

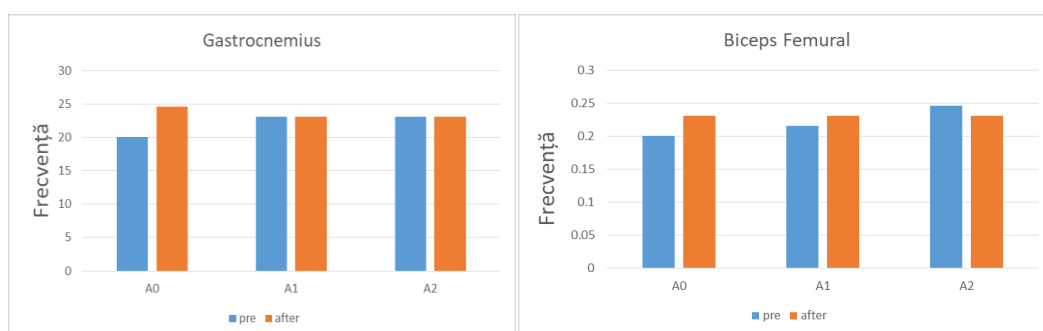


Figura 7. Valorile de frecvență (Hz) pe cele două grupe musculare investigate în cazul subiectului 1 înainte și după antrenament

În cazul decrementului logaritmice se poate observa în cazul bicepsului femural o creștere pe toate accelerometrele, pe când pe gastrocnemius creșterea este doar pe accelerometrul central, în timp ce pe celelalte două accelerometre plasate proximal și distal valoarea decrementului scade.

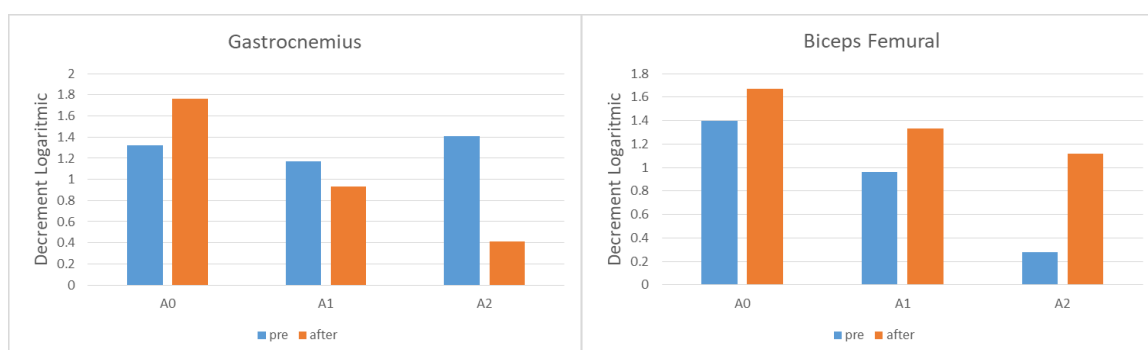


Figura 8. Valorile decrementului logaritmice pe cele două grupe musculare investigate în cazul subiectului 1 înainte și după antrenament

Se poate observa că pe burta mușchiului timpul de relaxare după stresul mecanic scade pe ambele grupe musculare după realizarea antrenamentului de forță al trenului inferior. Mai apoi aceeași creștere o vedem și pe accelerometrul plasat proximal, dar pe accelerometrul plasat distal, pe gastrocnemius observăm o ușoară creștere, pe când pe bicepsul femural valoarea scade.

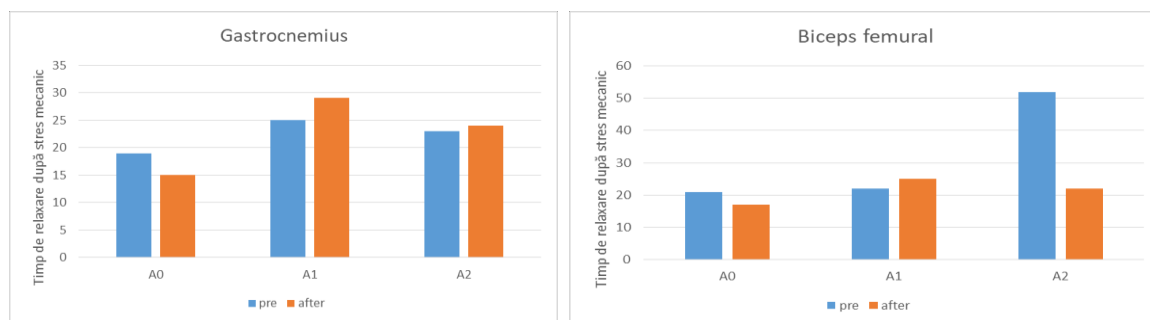


Figura 9. Valorile timpului de relaxare după stresul mecanic (ms) pe cele două grupe musculare investigate în cazul subiectului 1 înainte și după antrenament

Raportul dintre timpul de deformare și timpul de relaxare se comportă identic din punct de vedere al tendințelor de creștere și scădere pe ambele grupe musculare. Acesta suferă o scădere pe ACC0 de pe burta mușchiului, o creștere pe accelerometrul proximal, iar pe accelerometrul distal valoarea scade.

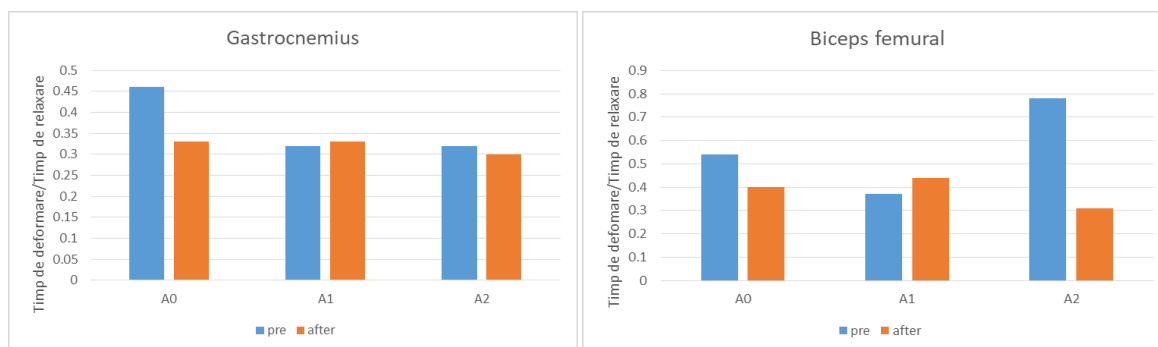


Figura 10. Valorile raportului dintre timpul de deformare și timpul de relaxare pe cele două grupe musculare investigate în cazul subiectului 1 înainte și după antrenament

### Utilizarea dispozitivului MusTone în Dry Immersion

Pentru a putea testa dispozitivul MusTone în condiții relevante mediului spațial, au fost identificate două experimente Dry Immersion, la care am fost acceptați. Experimentele presupun utilizarea dispozitivului MusTone pe o serie de mușchi prestabiliți, în mare parte mușchi antigravitaționali, extragerea datelor ce pot fi comparate cu cele oferite de dispozitivul aflat deja pe piață MyotonPro și evaluarea posibilității de a extrage alte date relevante din propagarea impulsului mecanic în mușchi, componentă importantă în realizarea unei caracterizări complete a țesutului muscular și definitivă pentru justificarea dezvoltării dispozitivului MusTone.

Dry immersion (imersie uscată) este o facilitare de simulare a efectelor fiziologice cauzate de microgravitație în mare parte asupra aparatului osteo-muscular uman, ce se bazează pe introducerea subiectului într-un bazin cu apă, neutră din punct de vedere termic. Subiectul nu se udă datorită unui material elastic și impermeabil care se mulează pe corpul subiectului iar pentru o durată relativ scurtă, modelul poate reproduce fidel cele mai multe efecte fiziologice ale microgravitației reale (Navasiolava, 2010).

### Dry Immersion 21 de zile în cadrul Institutului de probleme Biomedicale al Academiei (IMBP), Rusia

Evaluarea subiecților începe cu 5 zile înainte de imersie, când este înregistrată starea musculară, ca punct de plecare pentru observarea degradării în urma imponderabilității. Urmează perioada de imersie de 21 de zile în care se înregistrează date în anumite zile

conform protocolului experimental, iar în final, noi înregistrări se efectuează la 3 și la 7 zile după ieșirea din imersiune, pentru a observa modul de readaptare a subiecților.

În cadrul experimentului nostru, sunt analizate 7 grupe musculare selectate din protocolul lor experimental și localizate pe partea dreaptă a corpului pe un număr de 10 subiecți: Tibialis, Rectus tenoris, Platar, Achilles, Soleus, Gastrocnemius, Spinae.



Figura 11. Modul de plasare a accelerometrelor în timpul experimentului în cadrul experimentului din Rusia

### Rezultate și discuții în urma experimentelor Dry Immersion.

Pentru a evidenția comportamentul corpului uman în condiții de microgravitație simulată (Dry Immersion), vom folosi datele achiziționate pe 6 subiecți în cadrul studiului de 21 de zile desfășurat în Rusia la Institutul de Probleme Biomedicale al Academiei Ruse (IMBP), unde vom lua în considerare un singur mușchi din cei investigați. După cum spuneam și în prima parte a prezentei teze de doctorat, vom prezenta comportamentul muscular în funcție de anumiți parametri, extrași din semnalul de accelerație, parametri identificați din literatura de specialitate în descrierea dispozitivului MyotonPro:

- Frecvența de oscilație – este un indicator al tensiunii intrinsece (tonus).
- Decrementul logaritm – indică gradul de elasticitate al mușchiului
- Timpul de relaxare după stresul mecanic [ms] – reprezintă timpul necesar țesutului muscular să revină la forma dinaintea deformării.
- Raportul dintre timpul de deformare și timpul de relaxare a mușchiului – cu cât acest parametru are o valoare mică, cu atât mușchiul este mai sănătos și mai tânăr. (Myoton, 2013)

Pentru mușchii investigați în acest experiment au fost folosite 5 accelerometre dintre care 4 lipite pe piele longitudinal pe fibra musculară (accelerometrele 1 și 2 plasate distal și 3 și 4 proximal) și unul pe pistonul de aplicare a impulsului (accelerometrul 0).

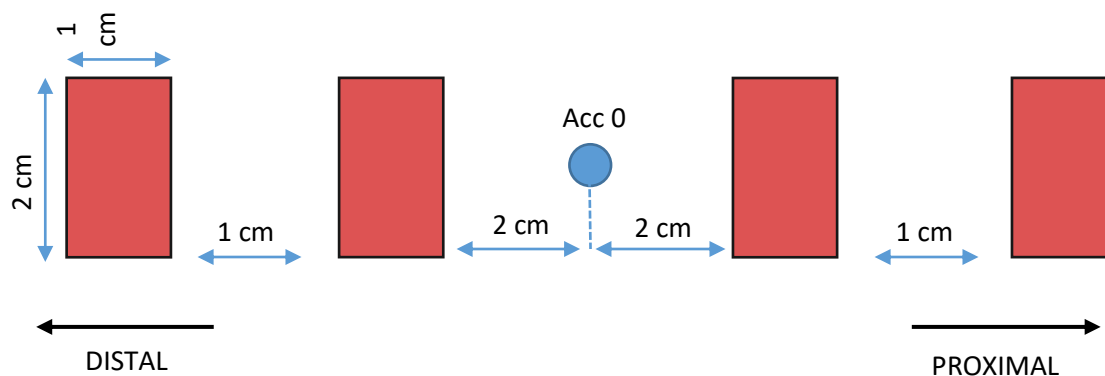




Figura 12. Plasarea accelerometrelor pe piele în experimentul Dry Immersion

### Subiectul 1.

În timpul perioadei de imersie, tendința valorii de frecvență față de punctul de plecare este de scădere pe toate accelerometrele cu excepția accelerometrului 0 poziționat pe burta mușchiului, unde valoarea din preimersie rămâne aceeași și în DI4. Comportamentul în zilele următoare se grupează în:

- accelerometrele plasate distal (1 și 2) care au o ușoară creștere de frecvență în DI13, o scădere în DI21, iar apoi din nou o creștere până aproape de valoarea inițială după cele 2 zile de recuperare;
- accelerometrele plasate proximal (3 și 4) unde valoarea frecvenței finale, după recuperare este mai mică decât valoarea din preimersie și chiar decât valoarea din DI21;
- Accelerometrul 0, în centrul mușchiului, care are un comportament atipic față de celelalte accelerometre, cu o valoare finală de frecvență mai mare decât în preimersie, dar totuși mai mică decât în DI21.

După recuperare, comparativ cu valoarea de la care s-a plecat din preimersie, frecvența scade pe toate accelerometrele mai puțin pe ACC0, plasat pe burta mușchiului unde valoarea crește.

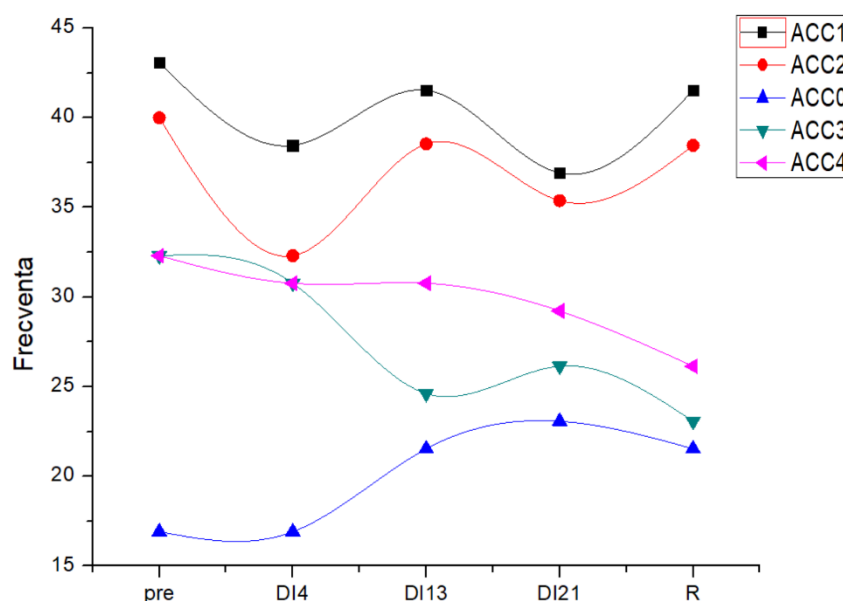


Figura 13. Evoluția frecvenței (Hz) în funcție de ziua de imersie în cazul subiectului 1.

În timpul perioadei de imersie, valoarea decrementului logaritm (Figura 14) față de punctul de plecare are un comportament diferit în funcție de zona pe care este plasat accelerometru, astfel că:

- accelerometrele cele mai îndepărtate, plasate distal și proximal (1 și 4) care au o ușoară creștere de frecvență în DI4, urmată de o scădere în următoarele 2 zile de înregistrare (DI13 și DI21) pentru ca apoi, după recuperare valoarea să crească peste valoarea inițială.
- Accelerometrele 2 și 3, deși valorile din zilele de imersie variază diferit, după recuperare decrementul se apropie de valoarea inițială. De asemenea se observă că la mijlocul perioadei de imersie valorile pe cele 2 accelerometre sunt foarte



apropiate ca valoare, pentru ca mai apoi în ultima zi de imersie valoarea pe accelerometrul distal scade pe când cea pe accelerometrul proximal crește.

- Accelerometrul 0, în centrul mușchiului, are un comportament ce se caracterizează printr-o ușoară scădere a decrementului în DI4 care continuă până în DI13, apoi valoarea urcă peste valoarea din DI13, iar în final după recuperare să scadă din nou.

Comparând ziua de preimersie cu cea de recuperare se observă o creștere a decrementului pe accelerometrele plasate proximal și pe ACC4, și o scădere pe ACC0 și ACC3.

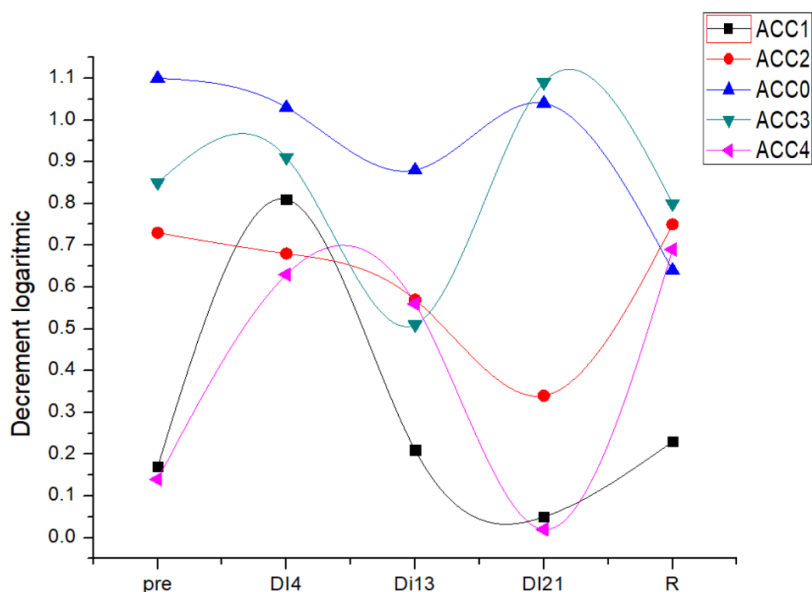


Figura 24. Evoluția decrementului logaritmic în funcție de ziua de imersie în cazul subiectului 1.

Variabilitatea raportului dintre timpul de deformare și timpul de relaxare (Figura 15) este foarte mică pe accelerometrele plasate pe piele, cu valori mai mari după recuperare față de punctul de plecare, dar nu semnificativ.

În schimb pe accelerometrul 0 variabilitatea este puțin mai mare, după cum se poate observa și în graficul de mai jos, dar se păstrează aceeași tendință de creștere după recuperare ca și în cazul celorlalte accelerometre.

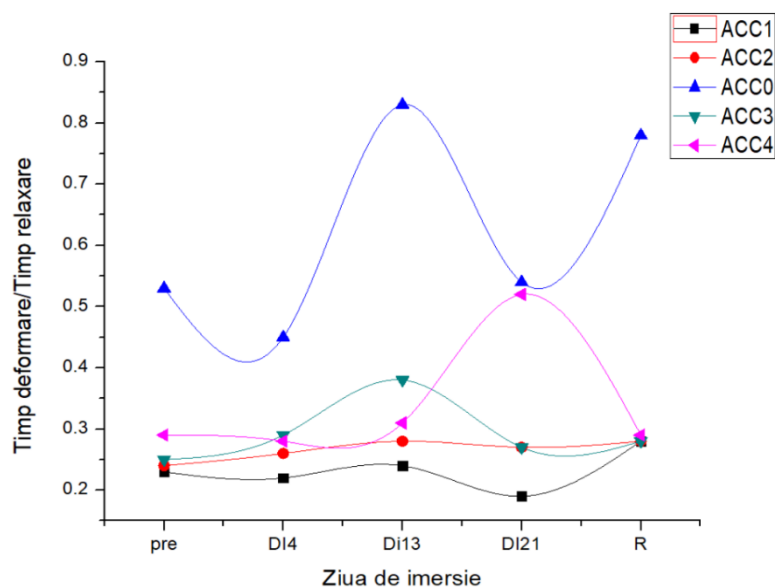


Figura 35. Evoluția raportului dintre timpul de deformare și timpul de relaxare în funcție de ziua de imersie în cazul subiectului 1.

Timpul de relaxare după stresul mecanic, după cum se poate observa în graficul de mai jos nu are o variabilitate foarte mare, excepție făcând valoarea din DI21 de pe ACC4 care este posibil să fie o eroare de măsurare. Pe accelerometrele plasate aproape de punctul de impact proximal și distal timpul de relaxare variază foarte puțin, iar după perioada de recuperare revine la valoarea inițială, dar dacă ne îndepărtăm, spre extremitățile mușchiului, după recuperare timpul de relaxare scade față de starea inițială.

Pe burta mușchiului (ACC0) se observă, după recuperare, o creștere față de preimersie.

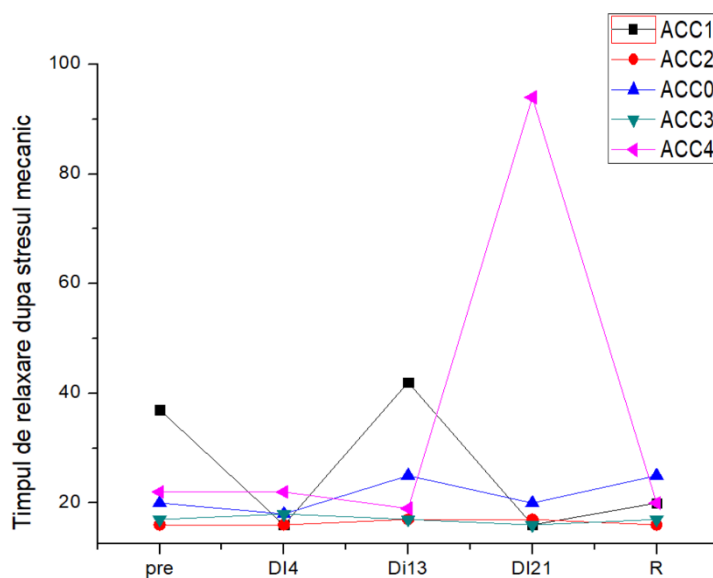


Figura 46. Evoluția timpului de relaxare după stresul mecanic (ms) în funcție de ziua de imersie în cazul subiectului 1.

## CAPITOLUL 14 CONCLUZIILE CERCETĂRII FUNDAMENTALE.

Analizând datele pe fiecare dintre subiecții investigați și diferitele grupe musculare vizate, se poate observa că dispozitivul dezvoltat oferă informații despre schimbări ce au loc în țesutul muscular de-a lungul perioadei de imersie.

Pe fiecare dintre parametrii analizați se observă valori diferite față de cele de la care s-a pornit (preimersie) și cele la care s-a ajuns în DI21, dar și valori diferite între datele din preimersie și cele de după recuperare.

Se observă că cele 2 zile de recuperare nu sunt suficiente pentru ca țesutul muscular să revină la forma inițială. Mai mult decât atât se pot observa mecanismele de adaptare prezente în corpul uman, în general schimbările fiind majore în DI4, apoi corpul începe o adaptare, iar echilibrul fiind din nou perturbat după scoaterea subiectului din imersie și readaptarea acestuia la „noul” mediu terestru.

Dispozitivul MusTone a fost folosit cu succes atât în experimente de simulare de microgravitație cât și pe sportivi de performanță, modificările parametrilor de interes fiind identificate.

## **CAPITOLUL 15 PERSPECTIVE ȘI RECOMANDĂRI PENTRU CONTINUAREA DEMERSULUI DE CERCETARE.**

Din punctul de vedere al perspectivelor pentru continuarea pe această direcție este nevoie în primul rând de realizarea unei comparații cu un dispozitiv consacrat pentru a putea discerne între datele valide și cele eronate. Această comparație este în pregătire pe cele două seturi de date achiziționate în Dry Immersion prin verificarea acestora cu dispozitivul MyotonPro, dar nu sunt disponibile în prezent.

De asemenea pe viitor se dorește realizarea de teste clinice pentru introducerea dispozitivului în evaluarea gradului de eficiență al exercițiilor fizice de recuperare efectuate pentru diferite afecțiuni ce au dus la o atrofie musculară mai mare sau mai mică, ca de exemplu hemipareze, rupturi, luxații, etc.

În prezent există interes pentru dezvoltarea dispozitivului la nivel de prototip și îmbunătățirea acestuia astfel încât să fie mai ușor de folosit, iar un proiect în pregătire în acest sens.

Nu în ultimul rând, teza prezintă un studiu doctoral descriptiv cu o mare utilitate în parcursul logic al dezvoltării unui dispozitiv, în perspectiva unor consolidări teoretice și metodologice ulterioare. Rezultatul final al studiului extins vizează identificarea unei proprietăți integratoare (funcția de transfer mecanică) a mușchiului care să permită un diagnostic rapid și concludent a proprietăților mecanice musculare.

## **REFERINȚE**

BBC. (2014). Principles and methods of trening. Preluat de la [http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebitesize/pe/exercise/1\\_exercise\\_principles\\_rev1.shtm](http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebitesize/pe/exercise/1_exercise_principles_rev1.shtm), accesat la 02 Aprilie 2017

Ciordas Ligia. (2014). Proprietățile mușchilor. Preluat de la <https://prezi.com/tabd9sknk92/proprietatile-muschilor/>, accesat la 22 Martie 2020.

Delsys. (2017). Delsys wireless EMG. Preluat de pe Trigno™ Wireless Systems and Smart Sensors. Preluat de la <http://www.delsys.com/products/wireless-emg/>, accesat la 9 Mai 2017.

Hill, A. V. (1938). The Heat of Shortening and the Dynamic Constants of Muscle. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 126(843), 136–195. doi:10.1098/rspb.1938.0050

Hillerin P., V. Văleanu, R. Dop. (f.a.) Conceptul HUP. Preluat de la <http://www.hup.ro/documente/conceptul%20hup.pdf>, accesat la 8 Decembrie, 2016

Kozlovskaya I. et al. (2015). Russian Countermeasure Systems for Adverse Effects of Microgravity on Long-Duration ISS Flights. *Aerospace Medicine and Human Performance*, 86 (12), 24-31.

Lebrasseur, N. K., Achenbach, S. J., Melton, L. J., 3rd, Amin, S., & Khosla, S. (2012). Skeletal muscle mass is associated with bone geometry and microstructure and serum insulin-like growth factor binding protein-2 levels in adult women and men. *Journal of bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 27(10), 2159–2169. <https://doi.org/10.1002/jbmr.1666>

Lundenroth L. et al. (2015). A novel approach to activate deep spinal muscles in space – Results of a biomechanical model. *Acta Astronautica Elsevier*, 116, 202-210.

Manzey D. (1995). Psychological countermeasures for extended manned spaceflights. *Acta Astronautica*, 35 (4/5), 339-361.

Mareş G. (2012). Psihologia activităților motrice. Facultatea de Științe ale Mișcării, Sportului și Sănătății, Universitatea "Vasile Alecsandri", Bacău. Preluat de la <http://cadredidactice.ub.ro/maresgabriel/files/2012/01/psihologia-activitatilor-motrice.pdf>, accesat la 30 Decembrie 2016.

Nicogossian A. et al. (n.d). Health, Performance and Safety of Space Crews. Preluat de la <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20050220674.pdf>, la 11 Ianuarie 2017.

Nistorescu A., et. al. (2017). Case Study on Muscular Response to Pulse Mechanical Stimulation after Immobilization. *E-Health and Bioengineering Conference (EHB)*, 2017.

Pampero P. et al. (2003). Muscles in microgravity: from fibres to human motion. *Journal of Biomechanics*. 36, 403-412, DOI [http://dx.doi.org/10.1016/S0021-9290\(02\)00418-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0021-9290(02)00418-9)

Propunere proiect STAR. (2016). Concept and scientific/technical objectives of the project. Laboratorul de Aplicații Spațiale pentru Sănătatea și Securitatea Persoanei, Institutul de Științe Spațiale, București

Quinn Elizabeth. (2016). Principle of Specificity-Definition. Preluat de la <https://www.verywell.com/principle-of-specificity-definition-3120375>, accesat la 02 Aprilie 2017

Sports Training Adviser. (f.a). The Specificity Principle for Sports Trening. Preluat de la <https://www.sports-training-adviser.com/specificityprinciple.html>, accesat la 24 Martie 2020.

The Mittani. (2014). A bitter pill: Muscular atrophy. Preluat de la <https://www.themittani.com/features/bitter-pill-muscular-atrophy?nopaging=1>, accesat la 22 Decembrie 2016