



A XV-a Conferință internațională – multidisciplinară  
„Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești”  
SEBEȘ, 2015

## **SISTEM ROBOTIZAT DE TIP EXOSCHELET DESTINAT RECUPERĂRII MEMBRULUI SUPERIOR**

Alexandru IANOȘI-ANDREEVA-DIMITROVA, Beniamin CHETRAN,  
Adrian ABRUDEAN, Simona NOVEANU, Olimpiu TĂTAR, Dan  
MÂNDRU

### **ROBOTIC EXOSKELETON FOR UPPER LIMB REHABILITATION**

Based on upper limb structure and its model – presented in the first part of the paper - a short overview on rehabilitation robotic wearable exoskeletons is given and the developed systems are analysed: a two degree-of-freedom (DOF) shoulder - elbow exoskeleton and a six DOF shoulder–elbow–wrist exoskeleton.

Keywords: exoskeleton , upper limb , recovery  
Cuvinte cheie: exoschelet, membru superior, recuperare

#### **1. Caracteristici ale membrului superior uman**

Structural, membrul superior prezintă două porțiuni: centura membrului și membrul liber. Centura are rol de legătură între trunchi și membrul liber. În structura membrului liber se identifică trei segmente principale: *brațul*, *antebrațul* și *mâna*, alcătuite din 32 de oase, unite prin 45 de articulații, mobilizate de peste 50 de mușchi, [1], [6], [9].

Datorită funcțiilor sale, membrul superior reprezintă unul din segmentele cele mai importante ale aparatului locomotor. Ca urmare, diminuarea sau pierderea acestor funcții conduce la restricții în desfășurarea unei game diversificate de activități, ceea ce justifică procedurile de redobândire, asistare sau înlocuire a acestora, [4], [11].

Astfel, funcțiilor motrice (poziționarea mâinii, orientarea mâinii și prinderea în diferite moduri) li se adaugă funcția senzorială, determinată de țesutul cutanat bogat în receptori precum și de capacitatea de manipulare și palpate.

Pe baza structurii osteo-articulare, utilizând noțiuni specifice științei mașinilor și mecanismelor, se poate întocmi biomecanismul membrului superior uman, ce poate fi înlocuit apoi cu un biomecanism echivalent simplificat (figura 1), [6], [12].

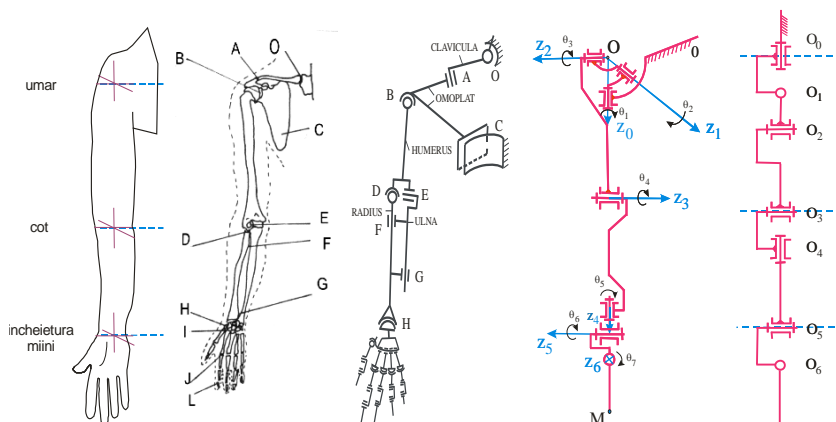


Fig. 1 Modelarea structurală a membrului superior uman

Mișcările anatomice de bază sunt: rotația internă – externă a brațului din articulația umărului; abducția – adducția brațului din articulația umărului; flexia – extensia brațului; flexia–extensia antebrățului din articulația cotului; pronația–supinația antebrățului; flexia-extensia mâinii și abducția–adducția mâinii din articulația gâtului mâinii. La acestea se adaugă mișcările anatomice elementare la nivelul degetelor ce permit o gamă diversificată de prinderi.

## 2. Sisteme de tip exoschelet utilizate în recuperare

În funcție de natura afecțiunilor și de funcțiile parțial diminuate sau total pierdute, Ingineria de recuperare propune soluții variate de redobândire a funcțiilor membrului superior: sisteme protetice, sisteme ortetice, echipamente pentru recuperare prin kinetoterapie etc. Acestea din urmă, se realizează într-o mare varietate constructiv-funcțională, după cum sprijină mobilizări pasive, active libere sau active cu rezistență, [3]. În condițiile în care sunt realizate ca sisteme robotizate, ca și în cazul

variantelor descrise în [2], [5], [7], [8], [10], [12], atunci potențialul lor funcțional crește semnificativ și asigură o mai mare eficiență a procesului de recuperare, prin gama largă de exerciții permise, prin posibilitățile de modificare a parametrilor exercițiilor și prin oportunitățile de evaluare și monitorizare a procesului de recuperare, [1], [12].

### 3. Variante dezvoltate

Cercetările anterioare ale colectivului, [3], [9], [11], au vizat identificarea soluțiilor tehnice de realizare a sistemelor de recuperare destinate membrului superior uman (figura 2): sisteme staționare (a), sisteme exoschelet semiportabile (b) sau complet portabile (c) pe bază de structuri seriale, sau paralele (d) cu elemente rigide sau utilizând diferite structuri paralele acționate prin fire/cabluri (e).

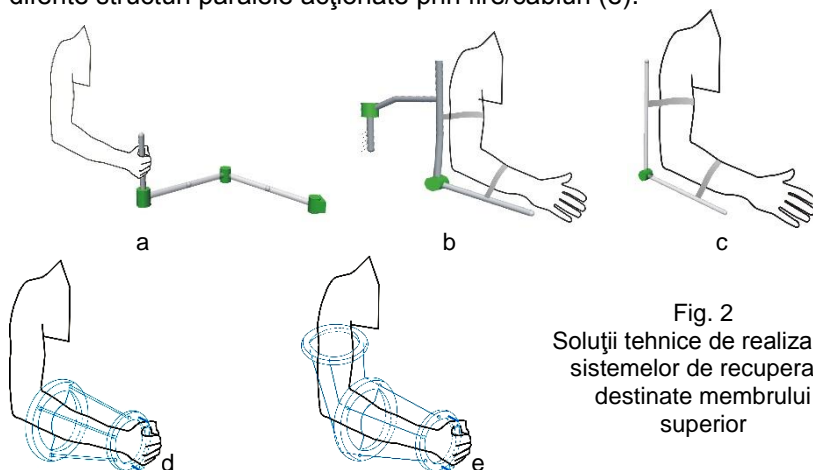


Fig. 2  
Soluții tehnice de realizare a sistemelor de recuperare destinate membrului superior

#### 3.1 Exoschelet cu două grade de mobilitate pentru umăr-cot

Prima variantă studiată se adresează articulațiilor umărului și cotului, fiind un exoschelet cu două grade de mobilitate, cu rol de mobilizare pasivă a brațului și antebrățului. Astfel, pentru mobilizarea membrului superior în mișcări de flexie-extensie a brațului din articulația umărului (proiecție înainte-înapoi) și flexie-extensie a antebrățului din articulația cotului (figura 2a), pe baza schemei structurale din figura 2b, a fost dezvoltat modelul CAD al unui sistem de tip exoschelet semi-portabil (figura 2c), ce se fixează la nivelul scaunului și este atașat, în același timp, membrului superior. Sunt puse în evidență elementele de structură la nivelul brațului și antebrățului, motoarele de antrenare la nivelul

umărului și cotului (prevăzute cu reductoare) și sistemul de fixare la nivelul scaunului. Acesta din urmă, este realizat în două variante diferite, prezentate în figura 2d. Se remarcă structura modulară, posibilitățile de reglaj și ușurința de adaptare la condițiile de fixare.

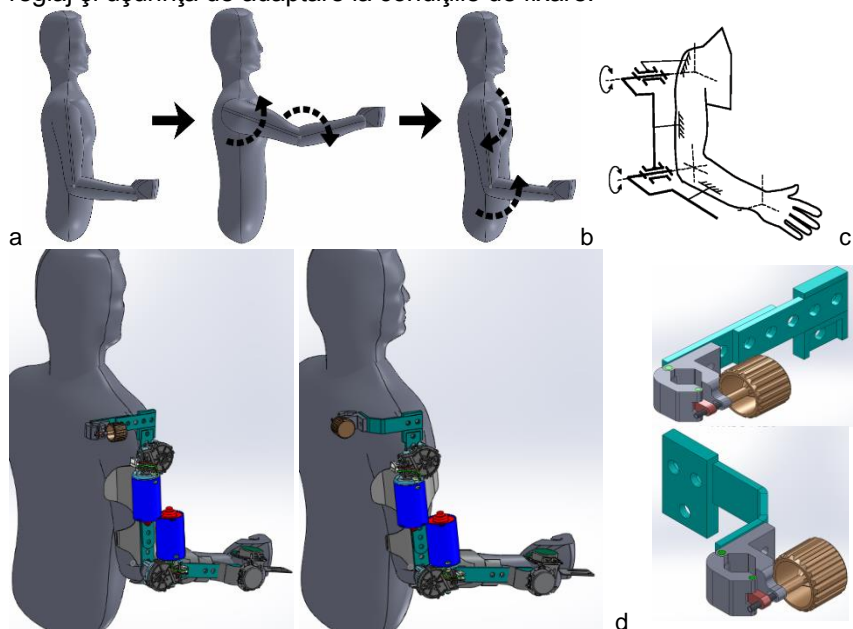


Fig. 3 Sistem de tip exoschelet semi-portabil, cu două grade de mobilitate, pentru umăr și cot

### 3.2 Exoschelet cu șase grade de mobilitate, pentru întregul membru superior

Plecând de la schema structurală dată în figura 4a, în care sunt puse în evidență mișcările anatomice asistate (trei mișcări la nivelul umărului, una la nivelul cotului și două la încheietura mâinii), s-a dezvoltat modelul CAD al unui sistem de tip exoschelet portabil, cu șase grade de mobilitate (figura 4b). El are în structură două module interconectate: modulul pentru încheietura mâinii (figura 4c) și modulul pentru umăr și cot (figura 4d).

Primul dintre acestea are la bază un lanț cinematic cu două grade de libertate, cu un element fixat la nivelul antebrățului. La proiectare s-au considerat două cuple cinematice de rotație amplasate una în planul sagital și una în planul dorsal și s-au efectuat măsurători antropometrice ale antebrățului, gâtului mâinii și a mâinii determinându-

se astfel dimensiunile elementelor din structură. Motoarele de acționare s-au ales în concordanță cu valorile cuplurilor măsurate în articulația gâtului mâinii, ele acționând elementele lanțului cinematic prin intermediul unui reductor. S-a urmărit asigurarea condițiilor de reconfigurare, pentru adaptarea la ambele membre. De asemenea, au fost prevăzute posibilități de reglaj la dimensiunile fiecărui utilizator și s-a prevăzut un mâner pentru solidarizarea cu mâna (figura 4c). Pe baza acestor specificații a fost realizat un model experimental.

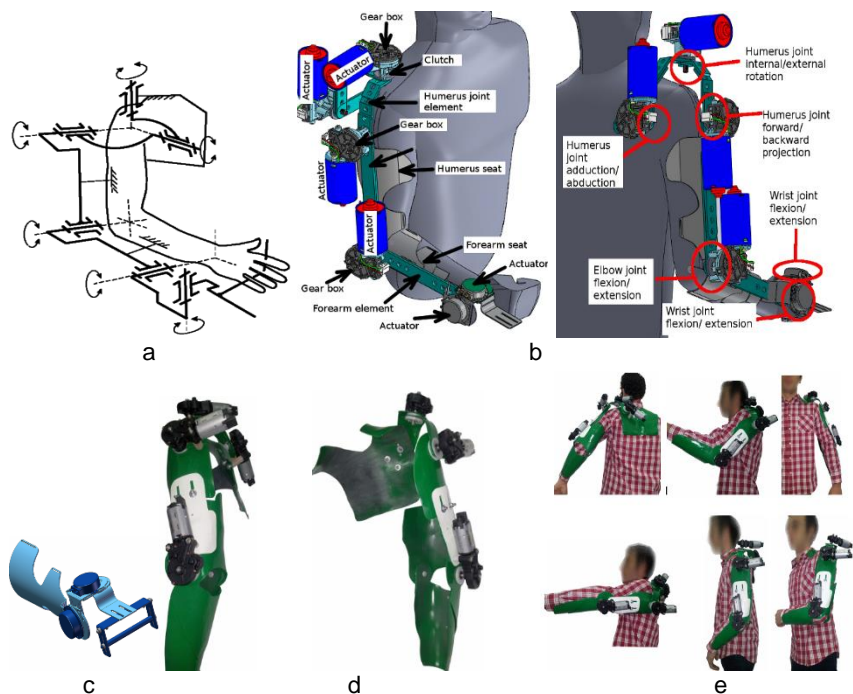


Fig. 4 Sistem de tip exoschelet portabil, cu șase grade de mobilitate, pentru umăr, cot și încheietura mâinii

Soluția constructivă specifică celui de-al doilea modul (figura 4d, e) s-a bazat pe un model Matlab al ansamblului membru superior-exoschelet, ce a oferit informații relevante pentru cinematica și dinamica sistemului exoschelet, în vederea definitivării proiectării și a alegerii motoarelor de acționare, [3], [11]. Modelările și analiza stărilor de tensiuni și deformații au condus la soluții de creștere a rezistenței elementelor din structură, creștere a rigidității, dimensionare adecvată a unor reperi. Astfel, activitatea anterioară a colectivului a condus la

elaborarea modelului CAD și realizarea unui prototip experimental al acestui modul.

### **3.3 Sub-sistem pentru asigurarea cuplurilor rezistente la mobilizările active cu rezistență**

Într-o anumită etapă a procesului de recuperare la nivelul membrului superior, în cazul anumitor afecțiuni, prezintă interes mișcările active cu rezistență (mișcări efectuate voluntar de pacient împotriva unor forțe sau momente rezistente).

Pentru un control al variației acestor rezistențe, în funcție de articulația de interes și de nivelul de recuperare, am propus sisteme bazate pe fluide electroreologice, sisteme ce pot fi realizate în variantă de frână rotativă sau pe bază de amortizoare liniare, ca și în figura 5, în care se consideră articulația cotului și mișcarea de flexie-extensie a antebrăului. Prin mecanismul cu bare articulate, de tip manivelă piston, unde s-a notat cu 1 manivela (solidarizată de antebră) și cu 2 biela, mișcarea se transmite la amortizorul liniar 3, fixat la nivelul brațului.

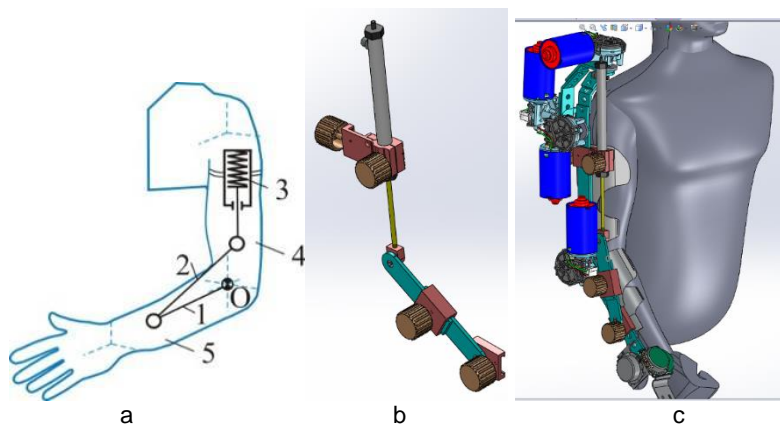


Fig. 5 Sistem de asigurare a cuplului rezistent la nivelul articulației cotului

Prima problemă rezolvată a fost cea de sinteză dimensională a mecanismului manivelă piston, pe baza a două poziții asociate ale mecanismului (cu antebrăul în cele două poziții extreme, în mișcare de flexie-extensie). Pentru anumite valori ale amplitudinii de mișcare a antebrăului și pentru anumite valori ale dimensiunilor antropometrice, se pot dezvolta mecanisme adaptate fiecărui utilizator, care să asigure prin amortizorul cu fluide electroreologice, cuplul rezistent necesar

pentru mișcări active cu rezistență. În figura 5b se prezintă modelul CAD al sistemului și detalii privind fixarea, iar în figura 5c este modelul CAD al exoscheletului, echipat cu mecanismul de dezvoltare a cuplului rezistent la nivelul articulației cotului.

#### 4. Concluzii

■ Sistemele robotizate oferă avantaje certe în procesul de recuperare a funcțiilor pierdute sau diminuate, astfel că în prezent se poate vorbi de un domeniu deosebit de dinamic, numit *robotică pentru recuperare*. În cadrul acestui domeniu, sunt numeroase cercetările ce vizează sistemele portabile, de tip exoschelet, atât pentru membrele superioare cât și pentru cele inferioare.

■ Plecând de la structura anatomică a membrului superior și de la biomecanica acestuia, s-au elaborat schemele structurale ale exoscheletelor cu diferite grade de mobilitate, ce se adresează diferitelor articulații. Modelele CAD au urmărit asigurarea unei structuri modulare, ceea ce permite dezvoltarea ulterioară, cu ușurință și cu modificări minime, a unei familii de exoschelete, cu diferite grade de mobilitate, funcție de restanțul funcțional al utilizatorilor. Pentru exercițiile de recuperare ce presupun mobilizări active cu rezistență, autorii au propus sisteme de asigurare a cuplurilor rezistente ce folosesc proprietățile fluidelor electroreologice. Astfel, s-au studiat atât frânelor rotative, cât și sistemele cu amortizoare liniare, cu fluide electroreologice.

■ Modele CAD elaborate au stat la baza realizării unor prototipuri funcționale: modulul pentru încheietura mâinii, modulul pentru umăr și cot, sistemul pentru asigurarea unor cupluri rezistente pentru mobilizări active cu rezistență.

■ Pentru un proces de recuperare mai eficient, sistemele de tip exoschelet dezvoltate vor fi utilizate împreună cu un sistem de stimulare electrică funcțională (SEF).

**Mulțumiri** Această lucrare a fost realizată cu sprijinul financiar al Proiectului PCCA, nr. 180/2012, cu tema: SISTEM HIBRID FES-EXOSCHELET PENTRU RECUPERAREA BRAȚULUI LA PERSOANELE CU HANDICAP NEUROMOTOR - *EXOSLIM*

#### BIBLIOGRAFIE

[1] Abdullah, H.A., ș.a., *Dynamic biomechanical model for assessing and monitoring robot-assisted upper-limb therapy*, Journal of Rehabilitation Research & Development, Volume 44, No. 1, 2007, p. 43–62.

- [2] Brackbill, E., ș.a. *Dynamics and Control of 4 dof Wearable Cable-driven Upper Arm Exoskeleton*, Proc 2009 IEEE Int Conf Rob Autom, p. 2300-2305, 2009.
- [3] Chetran, B., Tătar, O., Noveanu, S., Mândru, D., *A Proposal for a Driving System of a Four DOF Rehabilitation Exoskeleton*, Proc. of Meditech 2014, IFMBE Proc., Vol. 44. , p. 7-10, 2014.
- [4] Chetran, B., Noveanu, S., Tătar, O., Mândru, D., *A Study of Suitable Resistive Torque Mechanisms for Rehabilitation Exoskeletons*, Proc. of 2014 Int. Conf. on Electrical and Power Eng. , Iași 2014, IEEE Catalog Number CFP1447S-USB.
- [5] Colombo, R., ș.a., *Robotic Techniques for Upper Limb Evaluation and Rehabilitation of Stroke Patients*, IEEE Transactions On Neural Systems And Rehabilitation Engineering, VOL. 13, Nr. 3, p. 311- 324, 2005
- [6] Drăgulescu, D., *Modelarea în Biomecanică*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 2005.
- [7] Kiguchi, K., ș.a., *Desig and control of an exoskeleton system for human upper-limb motion assist*, Proceeding of the 2003 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechtronics (AIM2003), p. 296-931, 2003.
- [8] Letier, P., ș.a., *A 7 DOF Portable Arm Exoskeleton with Local Joint Control*, Proc. 2008 Int Conf on Intelig Robots and Systems, pp.3501 – 3506, 2008.
- [9] Mândru, D., Rusu, C., Noveanu, S., *Research concerning the development of a robotic system for rehabilitation exercises*, Mecatronica, nr. 2, p. 55 – 60, 2004.
- [10] Micera, S., ș.a., *A Simple Robotic System for Neurorehabilitation*, Autonomous Robots, Vol. 19, Nr. 3, p. 271-284, 2005.
- [11] Noveanu, S., ș.a., *Structural Synthesis of the Upper Limb Modular Wearable Exerciser*, Proc. 17<sup>th</sup> Int. Conf. ICSTCC-2013, p. 693-697.
- [12] Tătar, O., ș.a., *The kinematic model of 3 DOF rehabilitation robotic exoskeletons*, Robotica & Management, vol. 18, nr. 2, 2013, p. 26-31.
- [13] Tu, X., ș.a., *Design a Wearable Rehabilitation Robot Integrated with FES*, Proc. of the Fourth IEEE RAS/EMBS Int Conf on Biomedical Robotics and Biomechatronics, p.1555-1560, 2012.

Drd.Ing. Alexandru IANOȘI-ANDREEVA-DIMITROVA

email: ianosi\_alex@mdm.utcluj.ro

Asist.Dr.Ing. Benjamin CHETRAN

e-mail: beniamin.chetran@mdm.utcluj.ro

Șef lucr.Dr.Ing. Simona NOVEANU

email: Simona.Noveanu@mdm.utcluj.ro

Drd.Ing. Adrian ABRUDEAN

Drive Medical S.R.L., Bistrița, adrian.abrudean@drivemedical.ro

Prof.Dr.Ing. Olimpiu TĂTAR

email: Olimpiu.Tatar@mdm.utcluj.ro

Prof.Dr.Ing. Dan MÂNDRU

Decanul Facultății de Mecanică, email: Dan.Mandru@mdm.utcluj.ro

Departamentul de Mecatronică și Dinamica Mașinilor,

Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca