

STUDIU PRIVIND DEZVOLTAREA CONCEPTUALĂ A UNUI SISTEM PENTRU ANALIZA MERSULUI

Anca-Ioana TĂTARU (OSTAFE)

studenta doctoranda, Departamentul Design de produs, Mecatronică și Mediu, Facultatea Design de Produs și Mediu, Universitatea Transilvania din Brașov, 500036 Brașov, România

Autorul corespondent: Anca-Ioana Tătaru (Ostafe), anca.tataru@unitbv.ro

Îndrumătorul/coordonatorul științific: **Mihaela-Ioana BARITZ**, prof. dr. ing;
Corneliu-Nicolae DRUGĂ, șef lucrări dr. ing.

Rezumat. În contextul actual al tehnologiei medicale avansate, analiza mersului a devenit un instrument esențial în diagnosticarea și reabilitarea afecțiunilor locomotorii. Acest articol își propune dezvoltarea conceptuală a unui sistem pentru analiza mersului, care integrează tehnologii și algoritmi pentru procesarea datelor. Prin identificarea parametrilor critici ai mersului (lungimea pasului, ritmul de mers, unghiul de deviație, durata unui ciclu de mers) și aplicarea unor metode de analiză biomecanică (analiza cinematică și cinetică, distribuția presiunii plantare, evaluarea parametrilor temporali, înregistrări video ale ciclului de mers), sistemul propus oferă o evaluare detaliată și personalizată a mersului pacientului. Cercetarea se concentrează pe crearea unui model care să permită colectarea precisă a datelor, utilizând un modul care se poate monta pe glezna subiecțului și un modul pe genunchiul acestuia (acestea pot fi utilizate împreună sau separat în funcție de necesitățile analizelor asupra subiecților), precum și interpretarea într-un mod semnificativ și util d.p.d.v. clinic. Sistemul pentru analiza mersului poate fi utilizat în practica clinică pentru diagnosticare, monitorizare, personalizarea tratamentului, prevenție și cercetare. Metodologia adoptată implică utilizarea senzorilor goniometrici, a platformelor de forță și a unui modul de analiză a datelor pentru definirea dinamicii mersului. Concluziile studiului subliniază importanța integrării tehnologiei în practica clinică, deschizând calea către noi cercetări în domeniul biomecanicii mersului.

Cuvinte cheie: analiza mersului, analiză biomecanică, senzori, model conceptual

Introducere

Afecțiunile sistemului locomotor sunt comune în întreaga lume afectând milioane de oameni și reprezentând o povară semnificativă a sistemului de sănătate. Aceste afecțiuni includ peste 150 de condiții diferite care pot afecta încheieturile, mușchii, oasele, ligamentele, tendoane sau coloana vertebrală. De asemenea, conform articolului de la referința [1], mai sunt incluse și alte condiții precum osteoartrita, artrita reumatoidă, dureri de spate etc. Studiul din referința [1] a fost efectuat în 240 de țări din anul 1990 până în 2020 folosind date din 68 de surse. Datele au fost analizate folosind modele meta-regresie pentru a estima prevalența în funcție de an, vârstă, sex și locație. În acest sens s-a determinat faptul că aproximativ 494 milioane de oameni au avut o afecțiune locomotorie în 2020, cu o creștere de 123,4% față de anul 1990 unde totalul cazurilor era de 221 milioane de oameni. De asemenea s-a arătat faptul că afecțiunile locomotorii sunt mai prezente la femei decât la bărbați cu 47,4% și probabilitatea crește cu vârsta, ajungând la un vârf comun ambelor sexe la 65-69 de ani.

Conform Organizației Mondiale a Sănătății (OMS), în anul 2022 aproximativ 1,71 miliarde de oameni au o afecțiune musculoscheletală. Acestea sunt contributorii principali ai dizabilităților, în special durerea lombară fiind o cauză frecventă în 160 de țări. Tulburările musculoscheletale limitează mobilitatea și dexteritatea persoanelor, ducând la incapacitatea de a efectua lucrul zilnic și la pensionare anticipate și reducere a abilității de a fi parte din societate. OMS a lansat inițiativa *Reabilitare 2030* în 2017 pentru a atrage atenția asupra nevoii profunde nesatisfăcute de reabilitare

la nivel mondial și pentru a sublinia importanța consolidării reabilitării în sistemele de sănătate. Reabilitarea disfuncțiilor ar trebui să fie disponibilă pentru toate persoanele în toate etapele vieții, cu orice fel de afecțiune și de-a lungul procedurilor [2].

Din cercetarea realizată pe mai multe articole, s-a identificat că analiza mersului este o parte importantă în diagnosticarea problemelor sistemului locomotor, precum și în reabilitarea acestora. Un exemplu este displazia de șold la copii așa cum e prezentat în articolul de la referința [3], în care s-a determinat postura piciorului și analiza mersului pe 203 copii, iar rezultatul a arătat diferențe între postura piciorului la aplicarea tratamentului conservator și respectiv cel chirurgical. Analiza mersului a arătat care membru inferior este mai afectat și abaterea de la mersul normal, în funcție de stadiul patologiei. Articolele de la referințele [4] și [5] se referă la aplicarea feedback-ului în timp real al mișcărilor în medicina de reabilitare respectiv descrierea principiilor de funcționare a unui sistem semi-portabil bazat pe un microcomputer dezvoltat pentru a măsura forțele de reacție verticale pe ambele picioare în timpul mersului. Se arată astfel că analiza mersului este importantă în detectarea anomaliilor de mers, determinarea modelelor de mers, planificarea și urmărirea tratamentelor personalizate.

Având în vedere cele prezentate dezvoltarea conceptuală a sistemului propus în acest articol are ca obiectiv principal realizarea unui sistem modular wireless pentru analiza mersului în vederea diagnosticării și a reabilitării problemelor sistemului locomotor. Sistemul va fi format din două module principale, cu înregistrări proprii putând fi folosit fie individual, fie împreună pentru o analiză completă. În capitolul dedicat modelului conceptual vor fi prezentate pe larg aceste module.

Analiza ciclului de mers

Ciclul de mers poate fi analizat în funcție de următorii parametri spațio-temporali: „lungimea pasului (definită ca distanța dintre contactul inițial al piciorului angrenat în ciclul de mers și contactul cu solul al celuilalt picior), lățimea pasului (definită ca distanța dintre centrele ambelor labe ale picioarelor în momentul contactului amândurora cu solul), durata pasului (definită ca intervalul dintre două contacte ale aceleiași picior cu solul), cadența (definită ca rata de mers a unei persoane, exprimată în pași/secundă), viteza de mers (definită ca rata de schimbări pe distanță și reprezintă viteza cu care o persoană merge (distanță/timp=viteză))” [6].

Din punct de vedere al analizei comportamentale a ciclului de mers se regăsesc următoarele tipuri de analize:

- Analiza spațio-temporală se referă la măsurarea și analizarea parametrilor ce țin cont de timp și distanță din ciclul de mers (descrise anterior).
- Analiza cinematică se referă la măsurarea și analizarea unghiurilor în articulații și a mișcărilor din timpul mersului (de exemplu flexia genunchiului sau a șoldului).
- Analiza cinetică se referă la analiza și măsurarea forțelor și a torsiunilor existente în momentul mersului [6].

Pe lângă aceste analize, în studiul de față se vor introduce analizele distribuției forțelor plantare și înregistrările video ale ciclului de mers [7]. Prin analiza mersului se urmăresc următoarele aspecte biomecanice:

- **Distribuția presiunii** pe suprafața plantară a piciorului în diferite faze ale ciclului de mers. Aceste informații ajută la identificarea zonelor de înaltă presiune (de exemplu, sub călcâi sau capetele metatarsiene), distribuirea uniformă pe picior sau dacă există zone de dezechilibru.
- **Puncte de presiune de vârf:** identificate în timpul diferitelor faze ale ciclului de mers. Prin cuantificarea acestor valori, medicii pot determina dacă există zone de presiune localizată care pot fi asociate cu patologia piciorului sau mecanica anormală a mersului.
- **Încărcarea dinamică:** Analiza de mers evaluează modelele dinamice de încărcare ale piciorului, inclusiv viteza și magnitudinea forței aplicate în timpul lovirii călcâiului, a midenței, a propulsiei și a fazelor de închidere. Analizând modelele dinamice de

încărcare, clinicienii pot evalua cât de eficient absoarbe piciorul și transferă forțele în timpul mersului și pot identifica anomalii în modelele de încărcare care pot contribui la tulburări musculo-scheletice sau disfuncții de mers.

- **Centrul de presiune (COP):** Analiza de mers calculează centrul traiectoriei de presiune, care reprezintă punctul de aplicare al vectorului de forță de reacție la sol rezultat sub picior. Analiza traiectoriei COP oferă perspective asupra controlului postural, echilibrului și distribuției purtătoare de greutate în timpul mersului, ajutând clinicienii să evalueze stabilitatea și să detecteze abaterile de la modelele normale ale COP.
- **Simetria mersului:** Analiza mersului evaluează simetria distribuției forței plantare între înregistrările de pe picioarele stâng și drept. Un dezechilibru în distribuția forței plantare între membre poate indica modele asimetrice de încărcare sau mecanisme compensatorii datorate patologiei musculo-scheletice sau anomaliilor de mers.

Înregistrarea ciclului de mers trebuie realizată cu atenție de aceea în referința [7] se prezintă o serie de măsuri relativ simple care pot fi luate pentru a asigura înregistrări video de bună calitate pentru uz clinic: calitatea luminii, dimensiunile (în mersul normal lungimea pasului este 80% din înălțimea omului, iar raportul dintre înălțime și lățime unei imagini video convenționale este de 3:4), aranjarea camerei (trebuie poziționată perpendicular pe planul de interes) și să stea drept și în aceeași poziție pentru toate înregistrările.

Modelul conceptual propus pentru sistemul de fata si metodologia aplicata

Sistemul propus în acest articol are următoarele obiective principale:

- Obținerea mai multor date dintr-o singură măsurătoare;
- Realizarea oricăror tipuri de măsurători (sistemul poate fi utilizat în varianta completă sau pe module);
- Să se poată realiza aceleași măsurători pe diferiți subiecți fără modificarea sistemului;
- Să nu fie limitat de conexiuni;
- Realizarea înregistrărilor video pentru identificarea parametrilor cinematici;
- Realizarea modulelor de măsurare a parametrilor.

1) Realizarea înregistrărilor video pentru identificarea parametrilor cinematici:

Înregistrarea video (Fig. 1) pentru identificarea parametrilor cinematici se realizează utilizând sistemul Contemplas (un sistem care transformă înregistrările 2D ale mișcării în imagini 3D în vederea analizei mișcărilor). Acestea se vor efectua prin intermediul celor 3 camere video cu radiație vizibilă pentru un mers normal, cu markeri reflectorizanți care vor fi aplicați pe punctele de interes pentru respectiva măsurătoare. Analiza datelor se va face cu ajutorul aplicației software dedicate (TEMPLO Analysis) sau a unei variante gratuite (Kinovea) pentru obținerea parametrilor spațio-temporali și cei cinematici.

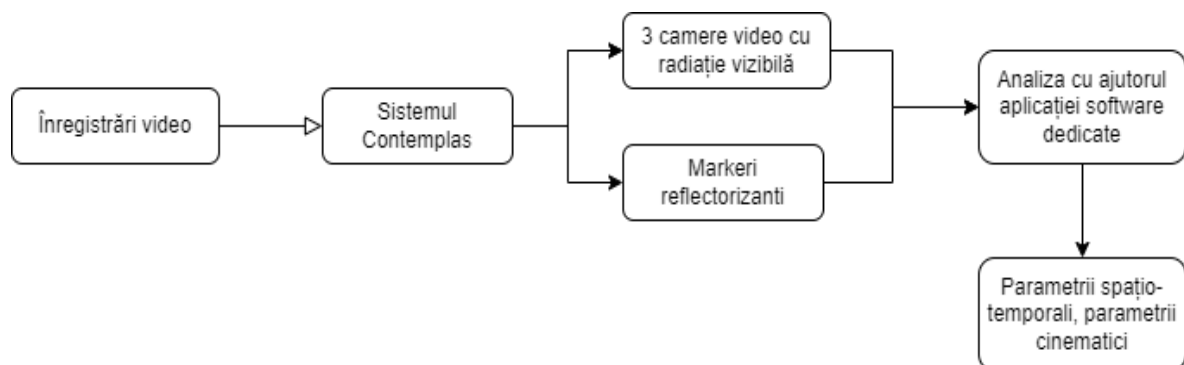


Figura 1. Diagrama identificării parametrilor cinematici

2) Realizarea modulelor de măsurare a parametrilor:

În cadrul acestui sistem se vor realiza două module de măsurare și anume, un modul de tip branțuri (descriș în Fig. 2) și un modul atașat la genunchi (descriș în Fig. 3).

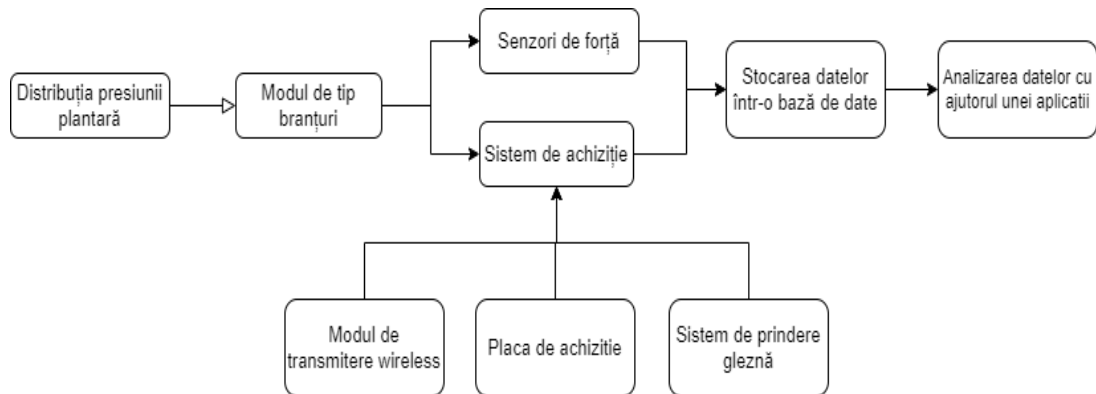


Figura 2. Diagrama modului de tip branț

Analiza distribuției plantare ne oferă informații esențiale pentru determinarea stării de echilibru, puncte de presiune în timpul ciclului de mers și determinarea centrului de presiune precum și traiectoria acestuia. Pentru aceasta se realizează un modul de tip branț care să conțină senzori de forță dispuși pe întreaga talpă și un sistem de achiziție montat pe gleznă pentru a facilita libertatea de mișcare. Sistemul va transmite datele în mod wireless pe computer unde se vor stoca într-o baza de date din care se vor analiza ulterior datele obținute.

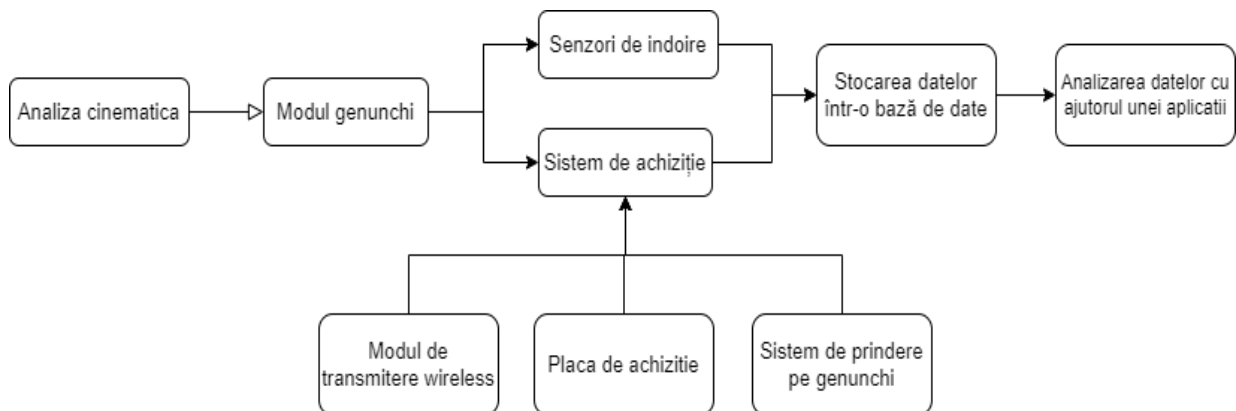


Figura 3. Diagrama modulului pentru genunchi

Analiza cinematică se referă la măsurarea și analizarea unghiurilor din articulații și mișcarea membrilor în timpul mersului. Pentru a realiza acest lucru în cadrul sistemului propus, se realizează un modul care se montează pe genunchi și care va fi compus din senzori (de îndoire) și un sistem de achiziție. Sistemul transmite datele care se stochează într-o bază de date din care se vor analiza ulterior cu ajutorul unui software.

Concluzii

Datele care se pot obține din înregistrările obținute cu ajutorul acestui sistem vor fi comparate pentru validare cu valorile obținute cu sistemul RSScan (un sistem fix care înregistrează presiunea plantară pe o lungime de 2 m) și cu cele obținute din studiile din literatura de specialitate. De asemenea, datele vor fi stocate într-o bază de date de înregistrări în care se vor trece ulterior și rezultatele obținute în urma analizei. Totodată s-a inițiat realizarea unei aplicații software de analiză a datelor obținute cu ajutorul sistemului realizat.

Se poate concluziona faptul că sistemul este unul flexibil (se pot face orice fel de măsurători), versatil (dintr-o măsurare se obțin mai multe date), rezultatele sunt comparabile cu cele din literatura de specialitate, reproductibil (se poate folosi la mai mulți subiecți), wireless (nu este limitat de conexiuni).

Referințe

- [1] Theo Vos, Jaimi Steinmetz, Garland Culbreth, *Global, regional, and national burden of other musculoskeletal disorders, 1990–2020, and projections to 2050*, <https://www.healthdata.org/research-analysis/library/global-regional-and-national-burden-other-musculoskeletal-disorders-1990> , accesat la 24.03.2024
- [2] “Musculoskeletal health.” <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/musculoskeletal-conditions> (accessed Mar. 24, 2024).
- [3] V. Vasilcova, M. AlHarthi, A. H. Jawadi, and M. Zvonař, “The Use of Visual Analysis for Gait and Foot Posture in Children with Developmental Dysplasia of the Hip,” *Diagnostics*, vol. 13, no. 5, Mar. 2023, doi: 10.3390/DIAGNOSTICS13050973.
- [4] M. Schablowski-Trautmann, M. Kögel, R. Rupp, R. Mikut, and H. J. Gerner, “From diagnostics to therapy--conceptual basis for real-time movement feedback in rehabilitation medicine,” *Biomed. Tech. (Berl.)*, vol. 51, no. 5–6, pp. 299–304, Dec. 2006, doi: 10.1515/BMT.2006.061.
- [5] H. J. Hermens, C. A. DeWaal, J. Buurke, and G. Zilvold, “A new gait analysis system for clinical use in a rehabilitation center,” *Orthopedics*, vol. 9, no. 12, pp. 1669–1675, 1986, doi: 10.3928/0147-7447-19861201-10.
- [6] T. (Ostafe) A. Ioana, “Aplicații ale ingineriei biomedicale în analize comportamentale,” vol. Vol.2, pp. 145–150, 2023.
- [7] Richard W. Baker, *Measuring Walking_ A Handbook of Clinical Gait Analysis*.