

APLICAȚII ALE INGINERIEI BIOMEDICALE ÎN ANALIZE COMPORTAMENTALE

Anca Ioana TĂTARU

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, anca.tataru@unitbv.ro

Coordonator: Mihaela-Ioana Baritz, prof.dr.ing; Corneliu-Nicolae Drugă, șef lucrări dr.ing

Rezumat. Inginerie biomedicală reprezintă un domeniu interdisciplinar în care sunt aplicate principiile diferitelor discipline cu scopul de a identifica și rezolva anumite probleme din "industria sănătății". Analiza biocomportamentală se referă la utilizarea metodelor cantitative de analiză a biomecanicii corpului uman. Una dintre analizele comportamentale importante este cea a ciclului de mers, deoarece în acest mod se pot identifica diverse probleme ale acestei acțiuni motorii și se pot oferi modalități de investigare a anumitor patologii precum și monitorizarea rezultatelor unui tratament de recuperare. Autoarea lucrării pornește de la prezentarea comportamentului unui eșantion de subiecți ce efectuează diferite tipologii de mers având articulațiile membrelor inferioare blocate și deasemenea utilizând suprafețe de sprijin înclinate pentru a identifica și alte posibile determinări biomecanice de interes medical. Analiza cinematică a articulațiilor se poate realiza urmărind modificările parametrilor mersului precum mărimea pasului, unghiuri, distanțe și evaluând forțele care se dezvoltă în articulații. Urmărind la subiecții din eșantion modificările acestor parametri ce sunt înregistrați cu diferite sisteme și raportându-le la valorile normale pentru tipul de mers evaluat se pot identifica anumite disfuncții ale tipului de mers. În același timp, cu aceste date, specialistul medical poate stabili procedurile și tratamentele necesare în vederea rezolvării problemelor și deasemenea poate observa evoluția persoanelor în raport cu terapiile pe care le urmează.

Cuvinte cheie: ciclu de mers, tipologii de mers, biomecanică

Introducere

Ingineria biomedicală este un domeniu interdisciplinar în care sunt aplicate principiile ingineriei, biomecanicii, biologiei și medicinei pentru a rezolva probleme din industria sănătății și pentru a îmbunătăți recuperarea pacienților. Principiile ingineriei sunt aplicate prin intermediul tehnicilor și tehnologiilor în dezvoltarea echipamentelor medicale, a instrumentelor de diagnosticare și a intervențiilor terapeutice. Biomecanica reprezintă studiul principiilor mecanicii aplicate mișcării și structurii organismelor vii, în special a corpului uman. La rândul ei, biomecanica încorporează principii ale diferitelor domenii tehnice (fizică, inginerie, matematică) și le aplică în studiul sistemelor biologice în vederea studierii deplasărilor, vitezelor, accelerațiilor, dar și a forțelor din sistemul muscular și a ligamentelor în diversele activități (mers, alergare, sărituri) [1].

Analiza comportamentală în ingineria biomedicală se referă la utilizarea metodelor cantitative pentru analiza comportamentului corpului uman în diverse contexte (analiza mișcărilor combinate, performanță sportivă, analize pentru stabilirea diagnosticului și tratamentul clinic de către un specialist medical etc.) [2].

Scopul acestei lucrări este de a oferi o perspectivă generală asupra mecanismelor de bază ale comportamentului uman și de a propune dezvoltarea de proceduri experimentale care pot îmbunătăți rezultatele pentru persoanele cu diferite afecțiuni, cum ar fi tulburări de mișcare și afecțiuni neurologice.

Ciclul de mers reprezintă evaluarea cantitativă a tipurilor de mers uman sau alergare incluzând analiza cinematică a articulațiilor și activității musculare în timpul mersului. Acestea implică utilizarea de echipamente și tehnologii în vederea evaluării aspectelor ce țin de mersul uman (mărimea pasului, unghiuri, forțe, activarea mușchilor în raport cu fazele ciclului de mers).

Analiza ciclului de mers

Ciclul de mers este împărțit în faza de sprijin, care reprezintă 60% din ciclul de mers și faza de balans care reprezintă 40% din ciclul de mers. În Fig. 1 este reprezentat ciclul de mers în funcție de perioada în care sunt încadrate și tipul de suport (bipodal sau unipodal).

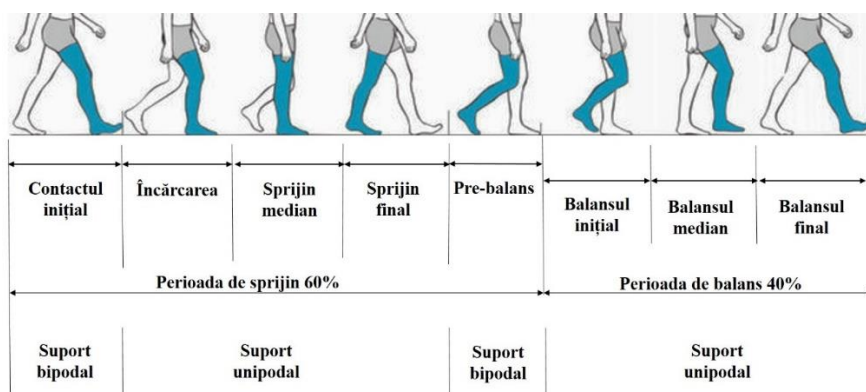


Figura 1. Ciclul de mers

Ciclul de mers poate fi analizat în funcție de următorii parametri spațio-temporali [1]:

- Lungimea pasului: definită ca distanța dintre contactul inițial al piciorului angrenat în ciclul de mers și contactul cu solul al celuilalt picior;
- Mărimea pasului: definită ca distanța între două contacte succesive ale aceleiași picior;
- 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 ($\text{distanță}/\text{timp}=\text{viteză}$);
- Lățimea pasului: definită ca distanța dintre centrele ambelor labe ale picioarelor în momentul contactului amândurora cu solul.

Din punct de vedere al analizei comportamentale a ciclului de mers aceasta poate fi împărțită în 5 categorii: observarea directă a mersului subiectului și notarea observațiilor calitative ale modelului de mers (de exemplu:prezența schiopătății, postură anormală); analiza spatio-temporală, analiza cinematică, analiza cinetică și analiza cu ajutorul electromiografiei (EMG).



Figura 2. Măsurarea unghiului în articulația genunchiului cu ajutorul goniometrului[4]



Figura 3. Măsurarea electromiografiei de suprafață [3]

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).

Un exemplu de măsurare a unghiului este reprezentat în Fig. 2, utilizându-se un element mecanic de măsurare, goniometrul. Analiza cinetică se referă la analiza și măsurarea forțelor și a

torsiunilor existente în momentul mersului. Măsurarea electromiografiei (EMG) reprezintă înregistrarea electrică a activității musculare în timpul ciclului de mers și oferă informații cu privire la modelele de activitate musculară și timp (Fig.3).

Studii care se pot dezvolta din evaluarea ciclului de mers

Evaluarea ciclului de mers poate avea implicații în mai multe arii de cercetare. Printre acestea se regăsesc: analiza biomecanicii a ciclului de mers, analize de adaptare la mediu (suprafața plantară) a sistemului locomotor, performanțe sportive, kintoreabilitare sau neuroreabilitare. În aceasta lucrare autoarea realizează o analiză a ciclului de mers din mai multe puncte de vedere: studiul comparativ al tipologiei de mers respectiv cu un sprijin înclinat.

Structura metodologiei de cercetare cuprinde două mari module și anume: **modul 1** reprezentat de stabilirea și alegerea instrumentelor și a dispozitivelor de înregistrare a mărimilor, a spațiului și a eșantionului de subiecți, respectiv **modulul 2** reprezentat de procedurile de experimentare.

În cadrul modulului 1, după alegerea spațiului de experimentare și a instrumentelor necesare înregistrărilor, respectiv în acțiunea de alegere a eșantionului este prevăzut să se realizeze măsurători antropometrice asupra subiecților care participă la cercetare. Această analiză constă în măsurarea limitelor fiziologice și anatomice ale membrelor inferioare ca și ale suprafețelor plantare ale subiecților cu ajutorul instrumentelor antropometrice (antropometru, goniometru, inclinometru, aparat pentru măsurarea flexiei și dinamometru) [4].

Studiul, conceput în [5] și propus a se dezvolta în această lucrare continuă această analiză prin determinarea comportamentului unui eșantion de subiecți cu gleznelor și genunchi imobilizați, în același timp, pe durata ciclului de mers, în comparație cu diferite tipologii de mers.

În vederea desfășurării cercetării, procedura stabilită în modulul 2 al metodologiei prevede analiza a mai multor tipuri de mers, precum: mers normal, mers cu pas adăugat, mers lateral, mersul cu spatele, mersul de marș și mers cu genunchii la piept. Pentru fiecare dintre ele s-au executat câte 3 măsurători a parametrilor cinematici pentru o acuratețe mai mare în analiza datelor, iar înainte de schimbarea subiecților s-a efectuat o calibrare în funcție de greutatea fiecăruia.

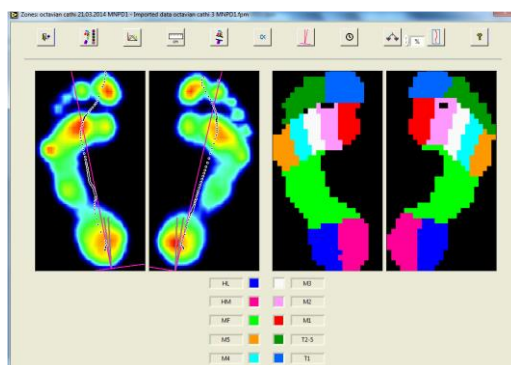


Figura 4. Reprezentarea zonei tălpilor picioarelor [5]

În timpul mersului normal și fără blocaje articulare analizat în [5], forțele de apăsare ale suprafețelor plantare pe sol sunt distribuite în mod egal celor două membre ceea ce conduce la un balans bilateral uniform în timpul ciclului de mers. Cei doi subiecți din eșantion care au participat la cercetare au început ciclul de mers cu piciorul drept (un comportament obișnuit deoarece ambii sunt dreptaci, iar bărbatul nu a făcut armata). În momentul blocării mecanice a unei articulații la un picior, subiecții au avut tendința de a începe ciclul de mers cu piciorul care nu era blocat, motiv pentru care au fost analizate și forțele plantare din ambele suprafețe plantare, în fiecare din aceste momente ale cercetării.

Modul de repartizare al presiunii plantare se realizează prin reprezentarea celor zece zone anatomice pe înregistrarea tălpilor cu ajutorul plăcii RSScan (Fig.4). Fiecare zonă este reprezentată de o culoare diferită.

În cazul mersului normal proiecția centrului de greutate trebuie să fie cât mai aproape de axa piciorului (linia care unește centrul călcâiului cu centrul celui de-al doilea metatarsian), acest lucru fiind respectat de către cei doi subiecți după cum reiese din studiul efectuat [5]. Subiecții au prezentat un echilibru normal în toate cele șase tipuri de mers care au fost studiate.

În cazul mersului cu genunchiul sau glezna blocată, subiecții au prezentat dezechilibre în timpul mersului. Atât în cazul ciclului de mers început cu piciorul stâng cât și a celui început cu piciorul drept se remarcă faptul că forța cu care subiectul calca pe piciorul stâng în mersul normal este mai mare decât forța subiectului în cazul mersului cu genunchiul drept blocat [5]. În Fig. 5 este prezentată o comparație pentru unul dintre tipurile de mers (mersul cu pas adăugat sănătos și același tip de mers dar cu genunchiul blocat), comparație din care se pot extrage o serie de concluzii referitoare la evoluția parametrilor mișcării.

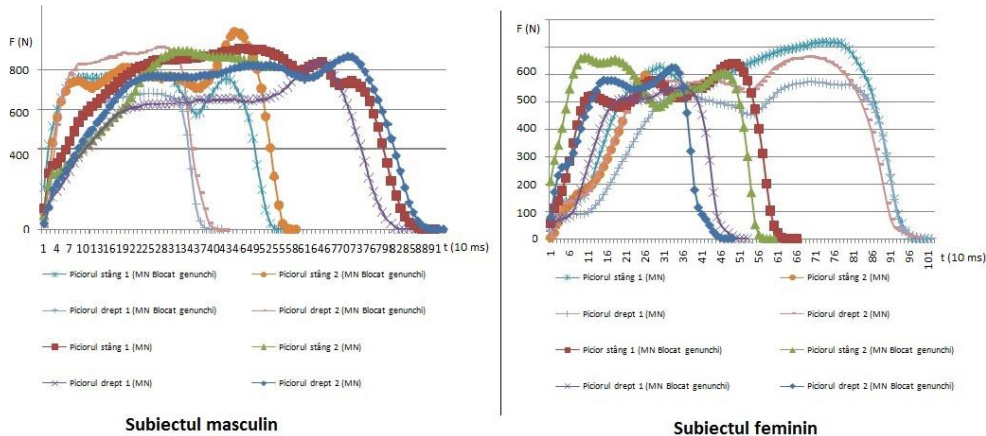


Figura 5. Comparație între mersul cu pas adăugat sanatos MN și cel cu genunchiul drept blocat MNB (ciclul de mers început cu piciorul drept)[5]

Rezultatele acestei cercetări scot în evidență o serie de aspecte precum: mersul cu genunchiul sau glezna blocată este dezechilibrat față de mersul normal, în lungimea pasului și distribuția forțelor se aseamănă cu mersul cu pas adăugat, piciorul drept este mai solicitat decât cel stâng.

Prin urmare, în cadrul procedurii propuse prin aceasta lucrare (glezna și genunchi blocate simultan la același picior) și pornind de la experimentele dezvoltate în [5] se emit următoarele ipoteze: (1) diferențele între parametri cinematici se vor accentua față de situația unei singure articulații blocate, (2) valorile presiunilor plantare pe piciorul cu ambele blocaje vor putea să fie determinate cumulativ și (3) diferențele între tipurile de mers vor accentua dezechilibrele posturale.

Aceste ipoteze sunt urmărite pe durata experimentelor pentru a putea la final crea un model de comparație între comportamentul în ciclul normal de mers al diferitelor forme cu cel în care pot exista blocaje unilaterale simple, duble sau bilaterale simple sau duble.

În ceea ce privește analiza mersului pe suprafață înclinată aceasta se realizează prin urmărirea mersului cu ajutorul pantofilor cu toc diferit (fără toc, cu toc de 3-5 cm și cu toc de 7-8 cm) și un brățar cu senzori de apăsare pentru verificarea presiunii tălpii piciorului în momentul ciclului de mers [6].

De asemenea este utilizată placa RSScan pentru înregistrarea presiunii plantare în dinamica mișcării de tip mers.

Analizând rezultatele acestui studiu au rezultat următoarele aspecte: (1) diferența de greutate dintre cei doi subiecți a indicat și diferența presiunii plantare din momentul mersului, (2) sistemul cu brățar și senzori a avut rezultate comparabile cu presiunile înregistrate de placa RSScan, (3) subiecții se simt cel mai confortabil atunci când poartă piciorul gol decât o încălțăminte cu suprafață înclinată.

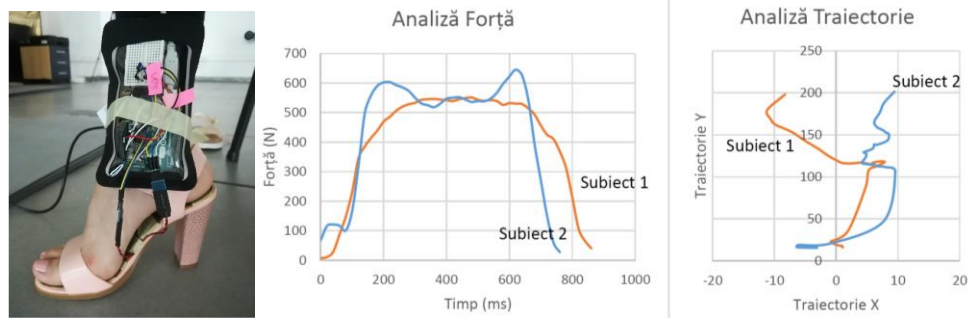


Figura 6. Sistemul experimental pentru analiza ciclului de mers pe suprafețe înclinate (pantofi cu toc) [6]

Pornind de la aceste experimente [6] în care s-a utilizat sistemul sensorial montat pe gleznă, autorea propune în această lucrare dezvoltarea unei metodologii, bazată pe principiile ingineriei biomedicale, prin care să se evalueze, în timp real, comportamentul sistemului locomotor, pe durata unui ciclu de mers, al unui eșantion de subiecți care se deplasează pe placa RSScan ($L=2$ m) și sunt înregistrați și cu mijloace video. În același timp cu înregistrarea forțelor plantare prin senzorii plăcii de presiune RSScan și realizând înregistrări ale senzorilor montați pe glezna piciorului se pot obține informațiile referitoare la comportamentul cinematic și dinamic, informații ce pot fi corelate cu traiectoriile obținute prin înregistrări video.

Concluzii

Prin urmare, ca viitoare direcție de cercetare în acest domeniu legat de analiza ciclului de mers în diferite situații se pot adăuga sistemele video pentru vizualizarea comportamentală a subiecților, prin adăugarea celei de a 3-a dimensiuni și anume traiectoria în timpul diferitelor tipuri de mers. Sistemele video de înregistrare pot fi cu 3 camere (de exemplu sistemul Contemplas) sau cu 6 camere (sistemul Vicon). Ambele sisteme oferă informații referitoare la parametri cinematici (viteza de deplasare, traiectorie, etc.) a unui marker fizic sau virtual montat pe anumite articulații ale corpului uman.

Din aceste analize combinate se prefigurează că se pot obține informații multiple despre comportamentul sistemului locomotor în diferite situații, informații ce pot ajuta specialistul medical să stabilească mai obiectiv evoluția unor disfuncții și/sau tratamente de recuperare sau pot ajuta sportivul pentru a obține performanță în mișcările efectuate.

Mulțumiri. Prezenta lucrare a fost realizată cu ajutorul Mihaela-Ioana Baritz, prof.dr.ing și Corneliu-Nicolae Drugă șef lucrari.dr.ing. și s-a desfășurat cu echipamentele din cadrul Institutului de Cercetare și Dezvoltare al Universității Transilvania din Brașov.

Referințe

1. STERGOIU, N. *Biomechanics and Gait Analysis*. Academic Press, 2020.
2. *About behavioral analysis* [online]. [accesat 28.02.2023]. Disponibil: <https://cla.auburn.edu/psychology/applied-behavior-analysis/about-behavior-analysis/>.
3. *All About EMG, Noraxon* [online]. [accesat 04.03.2023]. Disponibil: <https://www.noraxon.com/all-about-emg/>.
4. TĂTARU A.I., BARITZ M.I. *Dezvoltarea analizei biomecanice a mersului pe baza teoriei pendulului invers*. In Annual Session of Scientific Papers (IMT Oradea 2022), Baile Felix SPA, Oradea, Romania, 7-8 iulie 2022. Oradea: [IOP Conference Series: Materials Science and Engineering](#), Vol. 1256, 2022
5. MUNTEAN R.M. *Analiza presiunii plantare dezvoltate în mers cu articulații blocate*: Proiect de diplomă, coordonator Baritz Mihaela, Universitatea Transilvania, Facultatea Design de Produs și Mediu, Brașov, România, 2014

6. TRICĂ E. *Cercetări experimentale asupra ciclului de mers în suprafață de sprijin înclinat*: Proiect de diplomă, coordonator Baritz Mihaela, Universitatea Transilvania, Facultatea Design de Proiect și Mediu, Brașov, România, 2018
7. ROȘCA I.C., ȘERBAN I., *Fundamente de Biomecanică*, Editura Universității Transilvania din Brașov, 2013.
8. BAKER R.W., *Measuring Walking*, A Handbook of Clinical Gait Analysis.