

## UNELE CONSIDERAȚII PRIVIND ANALIZELE STATICE ȘI DINAMICE ASUPRA SISTEMULUI LOCOMOTOR

### SOME CONSIDERATIONS ON STATIC AND DYNAMIC ANALYZES OF THE LOCOMOTOR SYSTEM

Anca Ioana Tătaru (Ostafe), Mihaela Ioana Baritz, Angela Repanovici

Universitatea Transilvania din Brașov

Autor corespondent: **Angela Repanovici**, e-mail [arepanovici@unitbv.ro](mailto:arepanovici@unitbv.ro)

#### Abstract:

*Introduction:* The static and dynamic analyzes in the biomechanical field developed at the level of the locomotor system occupy a very extensive space of theoretical and experimental research, with different applications, from theoretical foundation to objective evaluations, to find performance solutions, improvement, recovery/rehabilitation of movements performed by the human body.

*The purpose of the study* was to analyze the general aspects and, in some situations, and particulars of the different areas of applicability but also of the diversity of methods and means possible to use in biomechanics studies of the human body.

*Material and method:* The domains were analyzed and a model was proposed to determine an efficiency score for the rapid identification of useful experimental solutions.

*Results:* The analysis of the variants of dedicated systems for biomechanics studies allowed the development of a methodology to evaluate the efficiency of the choice of these systems to complement each other, to combine to obtain more information and to validate the particular experiments. It was also found that open systems, which can be developed according to particular procedures, represent a first step for the validation of modular products and much easier to make compatible.

*Conclusions:* From an application point of view, the authors believe that the creation of a complete and complex database of mechanical, electronic, optical, video or complementary system variants possible to use in biomechanics analyzes will be able to streamline and improve the performance of determinations and it will be possible develop a fast compatibility mechanism.

#### Rezumat:

*Introducere:* Analizele statice și dinamice din domeniul biomecanic dezvoltate la nivelul sistemului locomotor ocupă un spațiu foarte extins de cercetări teoretice și experimentale, cu diferite aplicații, de la fundamentare teoretică, până la evaluări obiective, pentru găsirea soluțiilor de performanță, îmbunătățire, recuperare/reabilitare a mișcărilor efectuate de corpul uman.

*Scopul studiului* a fost să analizeze aspectele generale și în unele situații și particulare ale diferitelor domenii de aplicabilitate dar și al diversității de metode și mijloace posibil de utilizat în studiile de biomecanica corpului uman.

*Material și metodă:* Au fost analizate domeniile și s-a propus un model de determinare a unui scor de eficiență pentru identificarea rapidă a soluțiilor experimentale utile.

*Rezultate:* Analiza variantelor de sisteme dedicate pentru studii de biomecanică a permis dezvoltarea unei metodologii de evaluare a eficienței alegerii acestor sisteme care să se completeze, să se combine pentru a obține mai multe informații și pentru a valida experimentele particulare. S-a constata de asemenea că sistemele deschise, ce se pot dezvolta pe proceduri particulare reprezintă un prim pas pentru validarea unor produse modulare și mult mai ușor de compatibilizat.

*Concluzii:* Din punct de vedere aplicativ, autorii consideră că realizarea unei baze de date completă și complexă a variantelor de sisteme mecanice, electronice, optice, video sau complementare posibil de utilizat în analize de biomecanică va putea eficientiza și îmbunătăți performanțele determinărilor și se va putea dezvolta un mecanism rapid de compatibilizare

**Key-words:** *biomechanics, loco-motor system, stability, gait cycle, efficiency*

**Cuvinte cheie:** *biomecanică, sistem loco-motor, stabilitate, ciclul de mers, eficiență*

### Introducere.

Așa cum este definită în Dicționarul explicativ al limbii române ([https://dexonline](https://dexonline.ro)) noțiunea de *biomecanică* reprezintă „știință care studiază, pe baza mecanicii generale, structura, evoluția și funcțiunile aparatului motor al animalelor și al omului”. Din punct de vedere etimologic, termenul care face referire la *biomecanică* are la origine cuvintele din limba greacă *bios* = viață și *mekhanikos* = care se referă la sau implică muncă mecanică. (<https://www.etymonline.com/>)

Biomecanica, ca domeniu științific interdisciplinară, se bazează, în principal, pe utilizarea cunoștințelor din cel puțin trei domenii importante de studiu, și anume anatomie umană, mecanică și fiziologie. Față de aceste informații din domeniile enumerate sunt necesare o altă serie de informații din informatică medicală, biomateriale, prelucrări de date sau chiar psihofiziologie.

Biomecanica studiază pe lângă mișcarea propriu-zisă a corpului uman și structurile anatomo-funcționale care participă la realizarea stabilității (echilibrului) sau a mișcării după diferite direcții.

Analizele biomecanice complexe care se concentrează pe evaluarea echilibrului static și/sau dinamic al corpului uman (sau al unor module ale acestuia), de asemenea și pe evaluarea diferitelor mișcări (ciclu de mers, sărituri, poziția de lucru etc.) pot indica un anumit comportament, normal sau anormal (afectat de disfuncții) și pot fi utile în practica curentă în domenii precum: performanță sportivă, kinezoterapie, analize comportamentale ergonomice, proceduri de recuperare/reabilitare locomotorie etc.

Așa cum se arată în cercetări din ultimii 10 ani (Budescu E., 2013), analizele biomecanice evidențiază aspectele cantitative (prin intermediul principiilor mecanicii), dar și calitative (prin intermediul parametrilor sistemului nervos de comandă și control) ale comportamentului corpului uman, prin mecanisme care acționează asupra structurilor anatomice aflate în mișcare sau în stare de repaus, respectiv cele care modifică starea de echilibru intern.

**Scopul studiului** a fost să se realizeze o privire de ansamblu, generală a aplicațiilor și

domeniilor de studiu ce pot fi abordate prin prisma principiilor biomecanicii, urmând ca variantele mai importante să fie analizate din punct de vedere al identificării aspectelor practice. Toate aceste aspecte sunt parte componentă a structurii ce are ca țintă clară posibilitatea de a facilita cunoașterea și înțelegerea fenomenelor în vederea instruirii viitorilor profesioniști din domeniile importante în care corpul uman este implicat.

### Material și metodă.

Pentru identificarea și dezvoltarea aspectelor specifice ale cercetării privind studiile asupra comportamentului static și dinamic a sistemului locomotor au fost analizate direcțiile și rezultatele cercetărilor din diferite articole publicate în baze de date importante. Prin această evaluare s-a constatat necesitatea unei abordări sistematice și modulate ale variantelor de metode și mijloace, de aplicații hard și soft pentru a putea identifica zonele cu diferite niveluri de interes practic.

Din punct de vedere teoretic-metodologic și pentru a obține o cuantificare a comportamentului corpului uman în diferite acțiuni se consideră acesta, ca și în mecanica clasică a fi definit, pentru structurile osoasă sau musculară prin caracteristicile de material, și anume: *deformabilitatea materialului* și respectiv *rezistența mecanică a materialului*.

Conform teoriei mecanicii clasice deformabilitatea materialului este evaluată prin *deplasările structurale* produse în corpul analizat.

Astfel deformațiile pot fi:

- *elastice* – când deformațiile dispar odată cu încetarea acțiunii forțelor care le-au produs, în acest fel corpul revenind la forma inițială;
- *plastice* – când deformațiile sunt remanente după încetarea acțiunii forțelor;
- *elasto-plastice* – când deformațiile dispar doar parțial după încetarea acțiunii forțelor,

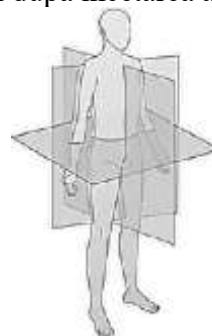


Figura 1 – Planele frontal, longitudinal și sagital definite pe corpul uman

În același sens deplasările, care determină mărimea unei deformații, pot fi: *liniare* respectiv *unghiulare* și se raportează la cele trei planuri ce definesc postura corpului uman (fig. 1).

A doua componentă, rezistența mecanică a materialului, (*tensiune* sau *efort unitar*) se definește ca raportul dintre valoarea forței elementare care acționează în punctul material și cea a ariei elementare aferente.

Forma de evaluare a rezistenței materialului se cuantifică, în cele cinci tipuri de solicitări mecanice la care poate fi supus un corp, sub următoarele variante: *tracțiune*, *compresiune*, *încovoiere*, *forfecare* și *torsiune*.

Din punct de vedere biomecanic și luând în calcul că materialul ce se studiază este corpul uman, atunci rezistența generală a acestuia, ca structură cinematică biomecanică, poate fi definită în fiziologie drept *capacitatea de acțiune a organismului pentru intervale lungi de timp fără să apară starea de oboseală fizică*.

### Rezultate.

În cadrul acestei cercetări s-a realizat o sinteză a diferitelor variante de proceduri de evaluare a parametrilor biomecanici, punând în evidență posibilitatea de modularizare a metodelor și mijloacelor specifice, dezvoltate pe o infrastructură modernă și performantă și cu capacitate de a genera sisteme deschise ce suportă îmbunătățiri și adaptări la cele mai diverse solicitări. (fig.2)

Sinteza acestor metode și mijloace de evaluare a mărimilor statice și dinamice biomecanice ale corpului uman implică o analiză generală și a domeniilor de aplicabilitate pentru a identifica cele mai utile mijloace și a determina scorul de eficiență (tabel 1)

Această analiză a scos în evidență faptul că diferite sisteme, echipamente sau dispozitive pot fi utilizate modular, sincronizat și compatibil existând astfel aplicabilitatea acestora în mai multe domenii.

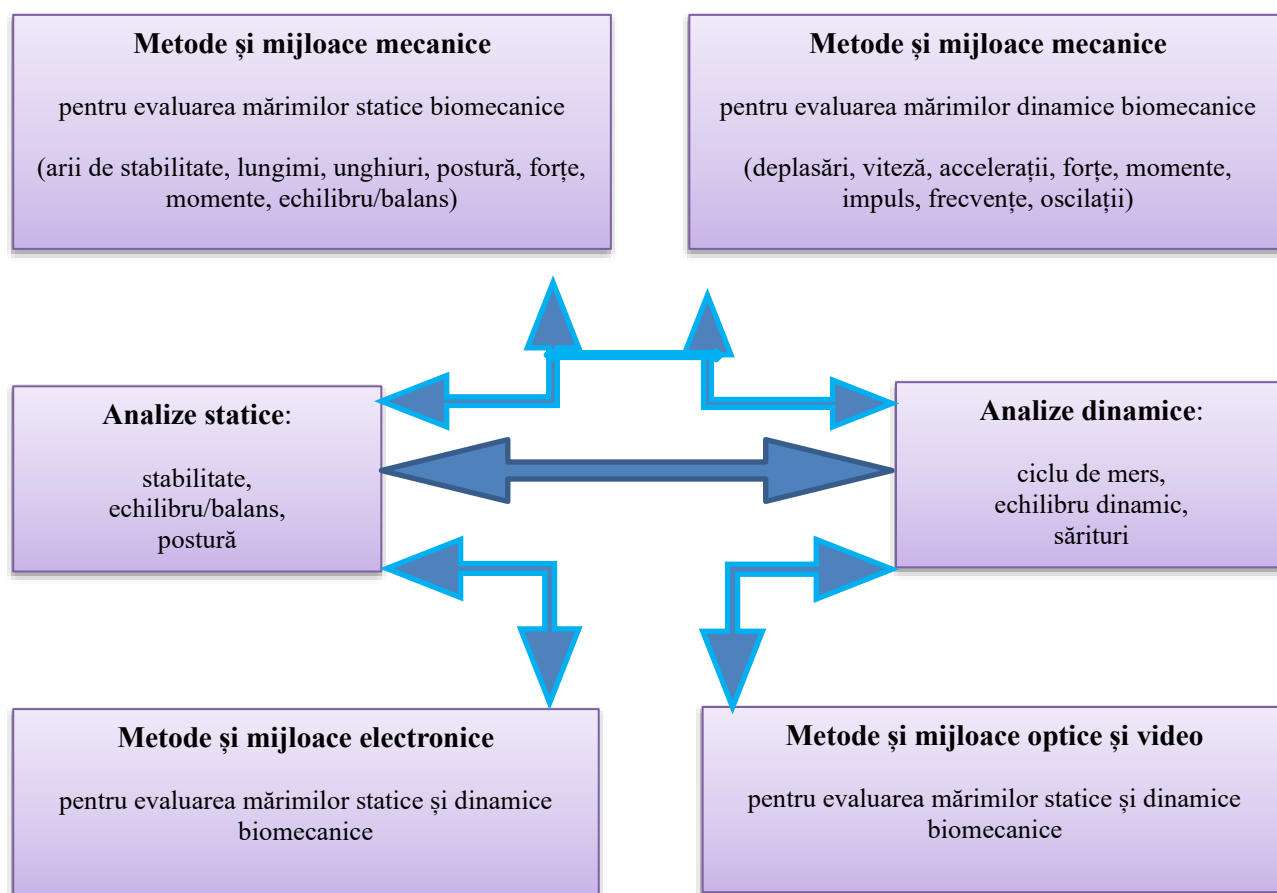


Figura 2 – Schema generală a tipologiilor studiilor de biomecanică, categoriile de metode și mijloace utilizate

Echipamente și dispozitive	Teorie	Sport	Ergonomie	Medicină generală	Kiacto	Recuperare locomotore	Industria	Multi media	Obt.
<b>Sisteme mecanice, electromecanice și electronice</b>									
Goniometre și inclinometre									6
Dispozitive și Senzori lungimi									4
Dispozitive și Senzori viteză, accelerație									3
Sisteme de măsurare forțe dinamometre									4
Sistem măsurare gamă de mișcare a articulației									6
Sisteme de măsurare oscilații și vibrații									3
Plăci de măsurare forțe și momente									4
Plăci de măsurat presiunea plantară									2
Echipament de tip kinetec									4
<b>Sisteme optice, opto-electronice și video</b>									
Sistem cu camere video în domeniul IR									5
Sistem cu camere video în domeniul vizibil									7
Sisteme de urmărire mișcare oculară tip eyetracking sincronizate cu cele ale sistemului locomotor									4
Sisteme senzoriale pe bază de radiație laser									2
Camera de televiziune									4
Sistem senzorial de tip Kinect									3
Camere de mare viteză									4
Scanere 3D manual sau fixe									3
<b>Sisteme senzoriale deschise, combinate și particularizate</b>									
Brățuri senzoriale și modulare									5
Sisteme senzoriale portabile wireless									4
Exoskeleton senzorial									3
Orteze senzoriale pentru achiziție date									4
Sisteme senzoriale de electro-miografie									5
Sisteme de achiziție date de la senzori aplicații de tip Biopac									5
Sisteme senzoriale de achiziție date fiziologice									2
<b>Sisteme computerizate și software pentru aplicații de modelare/simulare și prelucrare date biomecanice</b>									
Programe software dedicate de modelare / simulare tip LifeMode, AnyBody									3
Aplicație software pentru determinarea parametrilor cinematici									3
Sisteme de achiziție, prelucrare, stocare imagini statice									4
Sisteme de achiziție, prelucrare, stocare imagini dinamice (secvențe video)									7
Sisteme senzoriale personalizate pentru evaluarea / recuperarea diferitelor disfuncții locomotorii									6
Aplicații de baze de date specifice domeniului biomecanic									7
Sisteme auxiliare de imprimare 3D									2

Tabel nr.1. Sinteza sistemelor utilizate în diferite domenii de aplicații biomecanice

Pentru determinarea scorului de eficiență, pe care autorii îl propun prin această cercetare, se pornește de la câteva criterii inițiale de uz general, de utilizare a echipamentelor, a sistemelor sau dispozitivelor și la care se adaugă criteriile particulare, mai ales cele care evidențiază flexibilitatea și deschiderea spre dezvoltare ulterioară a acestora. (tabel 2)

Din cercetările efectuate de către autori și din consultarea bazelor de articole de cercetare

din acest domeniu au rezultat criteriile generale și cele particulare, sub forma unor mărimi mecanice, cinematice, dinamice.

Determinarea scorului de eficiență a utilizării sistemelor reprezintă o primă etapă de obținere a unui mecanism (chiar o aplicație software) de alegere rapidă a variantei optime (eficiente) pentru analizele de biomecanică particularizate pe diferite domenii de aplicații.

	Lungimi, deplasări, traiectorii	Viteze, accelerații	Unghiuri, rotații	Oscilații, vibrații	Forțe, momente, presiune	Arii de stabilitate	T (°C)	Formă	Scor de eficiență
Goniometre și inclinometre	0	0	10	0	0	0	0	0	10
Dispozitive și Senzori lungimi	9.5	0	0	7	0	0	0	0	16.5
Dispozitive și Senzori viteză, accelerație	0	9	8.5	7	0	0	0	0	24.5
Sisteme de măsurare forțe dinamometre	0	0	0	9	0	0	0	0	9
Sistem măsurare gamă de mișcare a articulației	8	7	8	8	0	0	0	0	31
Sisteme de măsurare oscilații și vibrații	7	8.5	7.5	9	0	0	0	0	32
Plăci de măsurare forțe și momente	7	0	0	0	10	9.5	0	0	26.5
Plăci de măsurat presiunea plantară	9.5	8	0	0	10	0	0	0	27.5
Echipament de tip kinetec	0	7.5	8	0	7	0	0	0	22.5
Sistem cu camere video în domeniul IR	9	8	8	0	0	8	0	7	40
Sistem cu camere video în domeniul vizibil	9.5	9	9	0	0	0	0	8	35.5
Sisteme de urmărire mișcare oculară tip eyetracking sincronizate cu cele ale sistemului locomotor	8	8	8	8	0	0	0	8	40
Sisteme senzoriale pe bază de radiație laser	8	0	0	0	0	0	0	8	16
Camera de televiziune	0	0	0	0	0	0	10	0	10
Sistem senzorial de tip Kinect	9	8.5	8	0	0	0	0	7	32.5
Camere de mare viteză	9.5	9	9	0	0	0	0	9	36.5
Scanere 3D manual sau fixe	8	0	0	0	0	0	0	10	18
Brățuri senzoriale și modulare	8	0	0	0	9.5	9.5	0	0	27
Sisteme senzoriale portabile wireless	9	9	9	8	0	0	0	9	44
Exoskeleton senzorial	9	9	9	0	0	0	0	0	27
Orteze senzoriale pentru achiziție date	8.5	8	8	0	0	0	0	0	24.5
Sisteme senzoriale de electro-miografie	0	0	8	8	8	0	0	0	24
Sisteme de achiziție date de la senzori aplicații de tip Biopac	8.5	8.5	8	0	0	0	9	0	34
Sisteme senzoriale de achiziție date fiziologice	7	7	7	8	8	0	9	7	53
Programe software dedicate de modelare / simulare tip LifeMode, AnyBody	9	9	9	0	8	0	0	9.5	44.5
Aplicație software pentru determinarea parametrilor cinematici	9.5	9.5	9.5	0	0	0	0	0	28.5
Sisteme de achiziție, prelucrare, stocare imagini statice	9	0	9	0	0	0	0	0	18
Sisteme de achiziție, prelucrare, stocare imagini dinamice (secvențe video)	9	9	9	9	0	0	0	9	45
Sisteme senzoriale personalizate pentru evaluarea / recuperarea diferitelor disfuncții locomotorii	8	8	8	8	8	8	8	8	64
Aplicații de baze de date specifice domeniului biomecanic	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sisteme auxiliare de imprimare 3D	0	0	0	0	0	0	0	10	10
<b>TOTAL</b>	<b>60</b>	<b>159.5</b>	<b>177.5</b>	<b>80</b>	<b>77.5</b>	<b>35</b>	<b>36</b>	<b>109.5</b>	

Tabel nr.2. Determinarea scorului de eficiență

NOTĂ: Se acordă punctaj cuprins între 0 și 10 (cu zecimale) pentru nivelul de utilitate identificat pentru aplicațiile din domeniul analizelor statice și dinamice asupra sistemului locomotor

Dintre aplicațiile dezvoltate pentru analizele statice și dinamice ale sistemului locomotor se pot exemplifica următoarele cazuri:

- Analiza posturii corpului uman în poziții bipodale și respectiv înclinate (Tătaru (Ostafe) AI, 2023) (fig.3)
- Studii asupra distribuției de forțe și presiuni pe suprafața plantară, (Tătaru (Ostafe) AI et al, 2023) (fig.4)
- Evaluări ale stării de confort vizual, (Bodi G.,2022)
- Analize asupra mișcărilor oculare pentru identificarea unor comportamente emoționale, (Lazăr A., 2022)
- Dezvoltarea unor cercetări fundamentale din domeniul biomecanic (Tătaru (Ostafe) A.I., 2022) (fig.5)
- Aplicații cu exoskeleton pentru învățare și recuperare motorie (Stoica B., 2022) (fig.6)

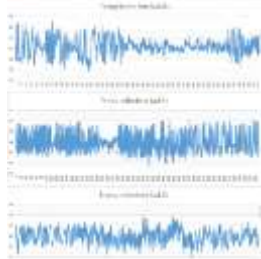


Figura 3 Analize posturale, gonometrie, forțe reactive față de suprafața de sprijin

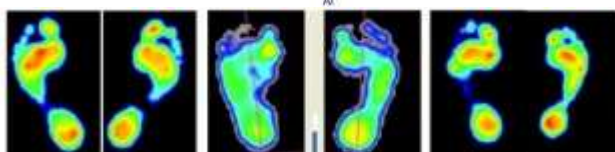
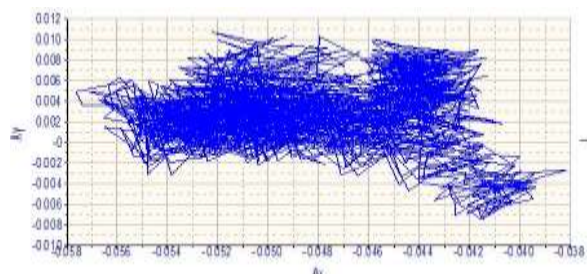


Figura 4 Analiza ariei de stabilitate și a presiunilor plantare

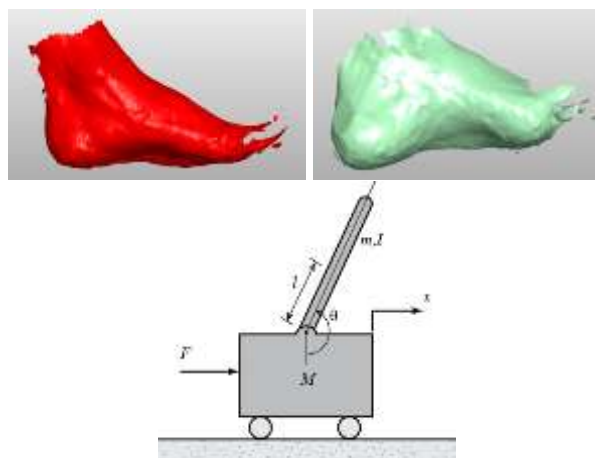


Figura 5 Modelare și simulare sistem locomotor



Figura 6 Exoskeleton pentru membru superior în dezvoltarea de studii combinate

Una din problemele ridicate de analiza procedeele utilizate în studiile de biomecanică ale corpului uman, în particular pentru sistemul locomotor, este legată de dinamica cercetărilor și de dezvoltarea acestora de către companiile producătoare. Astfel că frecvența de apariție a unor sisteme performante este foarte mare, iar produsele din zona microelectronicii opticii și micromecanicii sunt miniaturizate, wireless sau compactate.

Stabilirea nivelului minim/maxim al scorului de eficiență pe care autorii acestor cercetări îl propun ca element inițial în dezvoltarea unor studii particulare trebuie să ofere un prim aspect al implementării aplicației și pentru a asigura posibilitatea de a lua o decizie bazată pe un mecanism obiectiv, este un proces complex și dificil. Mai mult decât atât din acest punct de vedere, în cazul unui proces particular de analiză (performanța sau evaluare) acest scor de eficiență poate indica sensul și cantitatea de elemente componente necesare pentru o investigație completă.

### Concluzii.

Experiențele dobândite pe parcursul cercetărilor aplicative, informațiile primite pe diverse căi, cunoașterea performanțelor și a modului de lucru cu sistemele analizate, sunt tot

atâtea elemente care pot influența de asemenea scorul de eficiență explicând astfel o parte din efectele diferite care pot să apară pe durata analizelor, independent de cauzele obiective.

Din punct de vedere aplicativ, autorii consideră că realizarea unei baze de date completă și complexă a variantelor de sisteme mecanice, electronice, optice, video sau complementare posibil de utilizat în analize de biomecanică va putea eficientiza și îmbunătăți performanțele determinărilor și se va putea dezvolta un mecanism rapid de compatibilizare.

### Bibliografie

- [1] Actis R, Ventura L, Smith K, et al: Numerical simulation of the plantar pressure distribution in the diabetic foot during the push-off stance, *Medical & biological engineering & computing*, 44, 653-63. 2006. <https://doi.org/10.1007/s11517-006-0078-5>.
- [2] Altayyar SS: The Importance of Plantar Pressure Measurements and Appropriate Footwear for Diabetic Patients, *J Anal Pharm Res* 3(3), 00057. 2016, <https://doi.org/10.15406/japlr.2016.03.00057>
- [3] Aqueveque P, Germany E, Osorio R, et al: Gait Segmentation Method Using a Plantar Pressure Measurement System with Custom-Made Capacitive Sensors. *Sensors (Basel)*. Jan 24; 20(3):656, 2020 doi: 10.3390/s20030656
- [4] Apostoaie MG, Baritz MI. Noi Paradigme Utilizate în Studiul Comportamentului în Stare de Disconfort/Confort Postural, 2022, [www.ehbconference.ro](http://www.ehbconference.ro)
- [5] Budescu E. *Biomecanică generală*, Iași, 2013.
- [6] Dicționarul explicativ al limbii române, <https://dexonline.ro/definitie/biomecanica/definitii>, accesat ianuarie 2024.
- [7] <https://www.etymonline.com/> accesat decembrie 2023.
- [8] Baritz MI. Analysis of postural balancing movements in case of gait cycle in people with visual dysfunctions, Conference Prasic 2018.
- [9] Baritz MI, Braun B. The Correlation between Ocular Physio-pathological Manifestations and Bipodal Postural Reactions Conference EHB, [www.ehbconference.ro](http://www.ehbconference.ro), 2018.
- [10] Braun B, New Technology For Assisted People By PC Rehabilitation Evaluation, 2017, <http://www.elseconference.eu>.
- [11] Boubaker O, Rafael I. *The Inverted Pendulum in Control Theory and Robotics*, 2017.
- [12] Cen X, Xu D, Baker JS et al. Effect of additional body weight on arch index and dynamic plantar pressure distribution during walking and gait termination, 2020 <https://doi.org/10.7717/peerj.8998>,
- [13] Ciniglio A, Guiotto A, Spolaor F, et al. The Design and Simulation of a 16-Sensors Plantar Pressure Insole Layout for Different Applications: From Sports to Clinics, a Pilot Study, *Sensors*, 2021, 21, 1450. <https://doi.org/10.3390/s21041450>.
- [14] Clerval J, Lacombe R, Adolphe M, et al., Center of mass of human's body segments, *Mech. Mech. Eng*, 2017, 21, 3: 485-497.
- [15] Giacomozzi C, Caravaggi P, Stebbins JA et al. Integration of Foot Pressure and Foot Kinematics Measurements for Medical Applications, *Handbook of Human Motion*. Springer, Cham. 2016, accesat mai 2023.
- [16] Kejonen P, Body movements during postural stabilization. Oulu University Press, Oulu, 2002.
- [17] Li B, Xiang Q, Zhang X. The center of pressure progression characterizes the dynamic function of high-arched feet during walking, *J Leather Sci Eng* 2020, 2, 1. <https://doi.org/10.1186/s42825-019-0016-6>
- [18] McClymont J, Pataky TC, Crompton RH et al. The nature of functional variability in plantar pressure during a range of controlled walking speeds, *R. Soc. open sci.* 2016, 3(8). <https://doi.org/10.1098/rsos.160369>
- [19] Razak AH, Zayegh A, Begg RK et al. Foot plantar pressure measurement system: a review, *Sensors (Basel)*, 2012, 12(7), 9884-912, doi: 10.3390/s120709884.
- [20] Roșca IC, Șerban I. *Fundamente de biomecanică*. Ed. Universității Transilvania din Brașov, 2015.
- [21] Santiago LM, Hader Vladimir MT, Marco Fidel MF. Development of an armored upper limb exoskeleton. *Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 2020, 95 <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20191148>
- [22] Scoppa F, Gallamini M, Belloni G, et al. Clinical stabilometry standardization: Feet position in the static stabilometric assessment of postural stability, *Acta Medica Mediterranea*, 2017, 33, doi: 10.19193/0393-6384\_2017\_4\_105k.
- [23] Tătaru (Ostafe) AI, *Analiza biomecanică a balansului corpului uman*, Chișinău, 2023.
- [24] Tătaru (Ostafe) AI, Baritz MI, Repanovici A, et al. Biomechanical Analysis of the Balance of the Human Body. In: *International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2023. p. 84-92
- [25] Tonelo C.: What is the difference between force platforms and pressure platforms?, 2021, <https://www.physiosensing.net/>, accesat

- mai 2023.
- [26] The Science of Force Plates and Pressure Mapping, Freelap USA, Dec. 18, 2015. <https://www.freelapusa.com/the-science-of-force-plates-and-pressure-mapping/>, accesat mai 2023.
- [27] <https://www.foot-and-shoe.com/43-science/202-noch-bearbeiten-the-measurement-of-plantar-pressure-distribution>, accesat mai 2023

**Contribuția autorilor:** Contribuția autorilor: conceptualizare: AIT(O); designul cercetării: MIB,

AR, validarea metodologiei: AIT(O), MIB, AR, culegerea datelor; AIT(O), MIB, analiza datelor și / sau interpretarea datelor; AIT(O), MIB, AR; scriere-pregătirea textului inițial, AR; revizuire și editare.

**Surse de finanțare:** niciuna

**Conflicte de interese:** autorul nu are conflicte de interese relevante pentru acest articol