

**UNIVERSITATEA „BABEȘ-BOLYAI” CLUJ-NAPOCA
FACULTATEA DE EDUCAȚIE FIZICĂ ȘI SPORT
ȘCOALA DOCTORALĂ**

POPA VLAD

**KINOVEA ȘI PYTHON CA MIJLOACE
ALTERNATIVE ȘI ACCESIBILE DE ANALIZĂ
BIOMECHANICĂ**

Conducător de doctorat:

Prof. univ. dr. habil. IOSIF SANDOR

2025

Cuprins

Introducere	1
Motivația cercetării	2
Scopul lucrării	2
Obiectivele cercetării	3
Ipotezele cercetării	3
Noutatea și originalitatea cercetării	4
CAPITOLUL I. Elemente conceptuale și teoretice ale analizei biomecanice	6
1.1. Articulațiile implicate în mers și relevanța lor biomecanică.....	6
1.2. Mecanica mersului	7
1.3. Modele biomecanice ale mersului	8
1.4. Parametrii funcționali ai mișcării.....	9
Concluzii ale fundamentării teoretice	10
CAPITOLUL II. Extragerea și analiza datelor	11
2.1. Analiza biomecanică în laborator.....	11
2.2. Kinovea – aplicație open-source pentru analiza video 2D a mișcării.....	11
2.3. Ochy – aplicație mobilă de analiză automată a mersului.....	12
2.4. Utilizarea Excel în analiza comparativă	12
2.5. Python și analiza numerică a datelor biomecanice	13
2.6. SPSS.....	14
Concluzii ale capitolului	14
CAPITOLUL III. Studiul 1. Extragerea de date folosind Kinovea.....	15
CAPITOLUL IV. Studiul 2. Analiza datelor folosind Python	18
CAPITOLUL V. Studiul 3. Utilizarea mijloacelor de extragere și analiză a datelor înregistrate pre- și post-intervenție decontracturantă.....	21
CAPITOLUL VI. Studiul 4. Folosirea programelor open-source ca mijloace alternative de analiză biomecanică	24
CAPITOLUL VII. Cercetarea privind folosirea programelor Kinovea și Python ca mijloace alternative și accesibile de analiză biomecanică	27
7.1. Scopul, obiectivele și ipoteza cercetării.....	27
7.2. Metodologia cercetării	28

7.3. Instrumente și prelucrarea datelor.....	28
CAPITOLUL VIII. Rezultate obținute și prelucrarea statistică a rezultatelor cercetării	30
8.1. Rezultate	30
8.2. Discuții.....	30
8.3. Concluzii finale ale cercetării	31
8.4. Limitări și perspective viitoare	31
Concluzii generale ale tezei	33
Limitări ale cercetării.....	35
Recomandări practice.....	36
Perspective de cercetare viitoare.....	37
Contribuțiile originale ale tezei de doctorat.....	38
Bibliografie selectivă	40

Introducere

În domeniile care vizează aparatul locomotor — kinetoterapie, educație fizică, sport de performanță, fitness și activități recreative — devine tot mai evidentă necesitatea unor metode de evaluare obiective, dinamice și accesibile. Analiza biomecanică a mersului ocupă un loc central în acest context, deoarece mersul uman este un proces ciclic și complex, care presupune acțiunea coordonată a sistemului muscular, osos, articular și nervos, cu menținerea posturii verticale și a echilibrului în condiții statice și dinamice. Ciclul mersului include succesiunea fazelor dintre contactul inițial al unui picior cu solul și reluarea acestuia în ciclul următor, prin fazele de sprijin, transfer de greutate și balans (Taborri et al., 2016).

Analiza biomecanică de laborator reprezintă standardul de referință, prin utilizarea unor sisteme complexe, bazate pe multiple camere de mare viteză și echipamente specializate. Cu toate acestea, aceste soluții sunt costisitoare, greu de transportat și puțin flexibile, ceea ce le limitează aplicabilitatea în contexte reale de lucru, precum cabinetul de terapie, terenul de sport sau sala de antrenament (Requena et al., 2012). În acest context, identificarea unor mijloace alternative de extragere și analiză a datelor biomecanice devine necesară pentru formularea unor concluzii mai precise și pentru susținerea unor decizii practice mai bine fundamentate (Ang & Kong, 2023). Prin astfel de metode pot fi cuantificate lungimi, deplasări, timpi și unghiuri, iar ulterior pot fi deduse variabile relevante precum viteza, accelerația, forța, lucrul mecanic, puterea sau momentul forței (Liu et al., 2022).

Lucrarea propune utilizarea programului **Kinovea 0.9.5**, software gratuit și intuitiv, pentru extragerea datelor din înregistrări video 2D. Acesta permite calibrarea pe axele de interes și facilitează analiza mișcării în condiții standardizate de filmare, reducând timpul de pregătire și complexitatea evaluării (Paolino & Zampa, 2023). Datele obținute sunt ulterior centralizate și prelucrate numeric.

În paralel, aplicația **Ochy**, bazată pe analiză video și algoritmi de inteligență artificială, oferă o alternativă modernă pentru evaluarea mersului și alergării, utilizabilă direct cu ajutorul unui smartphone sau al unei camere conectate la calculator. Prin identificarea unor deviații față de parametrii considerați normativi, aceasta poate genera informații utile pentru specialiști din domeniul mișcării: kinetoterapeuți, antrenori, instructori, podiatri sau alergători.

În ceea ce privește prelucrarea datelor, limbajul **Python** oferă un cadru flexibil și eficient pentru analiza numerică a seturilor de date biomecanice. Prin scripturi personalizate pot fi automatizate calcule, ierarhizări, comparații, corelații și reprezentări grafice. Odată construită infrastructura de analiză, aceasta poate fi reutilizată pentru seturi mari de date, contribuind la creșterea obiectivității și reproductibilității evaluării. În consecință, utilizarea combinată a unor instrumente accesibile, precum Kinovea și Python, răspunde nevoii tot mai mari de evaluare biomecanică aplicabilă în condiții reale și la costuri reduse (Van Hooren et al., 2019).

Motivația cercetării

Analiza biomecanică a mersului este esențială pentru înțelegerea funcționării aparatului locomotor și pentru optimizarea intervențiilor terapeutice, educaționale și sportive. Totuși, infrastructura clasică a laboratoarelor de biomecanică presupune echipamente sofisticate, costisitoare și dificil de utilizat în afara mediului specializat, ceea ce limitează accesul specialiștilor și aplicabilitatea practică a evaluărilor (Requena et al., 2012; Wren et al., 2011).

Această situație justifică necesitatea unor soluții alternative, care să ofere date obiective și reproductibile, dar să fie în același timp economice, flexibile și ușor de implementat. Integrarea software-ului open-source **Kinovea** cu procesarea numerică în **Python** răspunde acestei nevoi printr-o metodă accesibilă, cu relevanță practică și potențial de extindere în contexte clinice, educaționale și sportive (Paolino & Zampa, 2023; Van Hooren et al., 2019).

Motivația cercetării constă, așadar, în necesitatea democratizării accesului la analiza biomecanică a mersului și în oferirea unei metode valide, reproductibile și aplicabile unui număr mai mare de specialiști din domeniul științelor motricității, kinetoterapiei și sportului.

Scopul lucrării

Scopul principal al cercetării este dezvoltarea, testarea și validarea unei metode alternative, accesibile și eficiente de analiză biomecanică a mersului, bazată pe utilizarea instrumentelor digitale open-source **Kinovea** și **Python**, cu aplicabilitate în evaluarea funcției locomotorii în contexte educaționale, sportive și clinice.

Lucrarea urmărește propunerea unei soluții practice, economice și reproductibile pentru analiza unghiurilor articulare și a parametrilor funcționali, contribuind la extinderea evaluării obiective în științele motricității. Cuantificarea caracteristicilor biomecanice ale mersului

reprezintă un instrument clinic important pentru identificarea tiparelor normale și patologice de locomoție (Phinyomark et al., 2016).

Obiectivele cercetării

Pentru realizarea acestui scop, au fost formulate următoarele obiective:

1. realizarea unei fundamentări teoretice privind biomecanica mersului, articulațiile implicate și metodele actuale de analiză a mișcării;
2. configurarea și standardizarea unui protocol de filmare și analiză video prin Kinovea pentru estimarea unghiurilor articulare în timpul mersului;
3. elaborarea unor scripturi personalizate în Python pentru procesarea numerică a datelor, generarea de tabele, grafice și corelații funcționale;
4. aplicarea protocolului pe un eșantion de subiecți pentru validarea practică a metodei și identificarea variabilității parametrilor funcționali;
5. compararea rezultatelor obținute cu date din literatura de specialitate și cu metode biomecanice consacrate, pentru evidențierea avantajelor și limitelor metodei propuse;
6. formularea unor recomandări de aplicabilitate practică în educație fizică, kinetoterapie și antrenament sportiv.

Ipotezele cercetării

Cercetarea a pornit de la următoarele ipoteze:

1. analiza video 2D realizată cu ajutorul software-ului Kinovea, în condiții standardizate de filmare, permite estimarea cu acuratețe a unghiurilor articulare ale membrelor inferioare în timpul mersului;
2. procesarea numerică a datelor extrase prin Python poate furniza indicatori biomecanici relevanți, comparabili cu cei obținuți prin metode biomecanice clasice;
3. metoda combinată Kinovea–Python poate evidenția diferențe semnificative între subiecți cu profiluri funcționale distincte sau niveluri diferite de activitate fizică;

4. această metodă accesibilă de analiză poate constitui o alternativă viabilă și scalabilă pentru contexte educaționale, sportive și clinice, completând sau substituind parțial evaluările costisitoare de laborator;

5. datele biomecanice obținute permit formularea unor recomandări personalizate pentru optimizarea funcției locomotorii, prevenirea accidentărilor și susținerea procesului de reabilitare.

Noutatea și originalitatea cercetării

Lucrarea aduce un aport original prin integrarea și validarea unei metode alternative, accesibile și reproductibile de analiză biomecanică, bazată pe combinația dintre software-ul open-source **Kinovea** și limbajul de programare **Python**. Această abordare propune o soluție practică pentru evaluarea parametrilor funcționali ai mișcării fără a necesita laboratoare specializate sau echipamente costisitoare, contribuind astfel la democratizarea accesului la analiza biomecanică în contexte educaționale, clinice și sportive.

Originalitatea cercetării constă în:

- dezvoltarea unui protocol de analiză biomecanică bazat pe filmări video standardizate și pe procesare numerică prin scripturi proprii în Python;
- aplicarea metodei într-un cadru comparativ, pentru evidențierea diferențelor dintre subiecți sau dintre momente diferite ale evaluării funcției locomotorii;
- propunerea unei soluții scalabile și replicabile pentru profesioniștii din domeniul științelor motricității care nu dispun de resursele unui laborator biomecanic tradițional.

Noutatea lucrării este susținută și de abordarea unor problematici funcționale ale mersului și comportamentului articular prin instrumente ușor de utilizat și de extins către alte categorii populaționale, precum sportivi, pacienți postoperatorii sau vârstnici. Contribuția principală constă în adaptarea, testarea și validarea unei metode moderne de analiză a mișcării, cu potențial de utilizare largă în educația fizică, recuperare și sportul de performanță. În acest sens, dezvoltarea sistemelor de înregistrare și analiză a mișcării a făcut posibilă cuantificarea unor variabile precum distanțele, unghiurile și timpii, precum și definirea unor repere funcționale și a devierilor față de acestea (Wren et al., 2011). În paralel, progresele tehnologice din ultimele decenii au permis

extinderea evaluării posturii și mișcării în afara laboratorului și în condiții din ce în ce mai apropiate de practica reală (Keijsers et al., 2016).

PARTEA I

FUNDAMENTAREA TEORETICO-ȘTIINȚIFICĂ A LUCRĂRII

CAPITOLUL I. Elemente conceptuale și teoretice ale analizei biomecanice

Analiza biomecanică a mișcării umane reprezintă un domeniu interdisciplinar care studiază modul în care structurile anatomice și mecanismele neuromusculare contribuie la realizarea mișcărilor funcționale ale corpului. În cazul mersului uman, analiza biomecanică permite înțelegerea relațiilor dintre segmentele corporale, distribuția forțelor și mecanismele prin care organismul menține stabilitatea, echilibrul și eficiența energetică în timpul deplasării.

Mersul este un proces locomotor complex, caracterizat prin succesiunea coordonată a fazelor de sprijin și balans, în cadrul cărora multiple articulații și segmente corporale acționează sinergic. Evaluarea obiectivă a acestor mecanisme reprezintă o componentă esențială atât în cercetarea biomecanică, cât și în practica clinică, recuperatorie sau sportivă.

În contextul dezvoltării tehnologiilor digitale, analiza mișcării umane poate fi realizată nu doar în laboratoare specializate, ci și prin metode accesibile, precum analiza video și procesarea numerică a datelor. Aceste abordări permit extinderea evaluării biomecanice în contexte reale, facilitând monitorizarea funcțională a mișcării în educație fizică, kinetoterapie sau antrenament sportiv.

1.1. Articulațiile implicate în mers și relevanța lor biomecanică

Funcționarea eficientă a mersului depinde de interacțiunea dintre mai multe structuri ale aparatului locomotor, în special complexul gleznă–picior, genunchiul, șoldul și coloana vertebrală. Aceste structuri formează un lanț kinetic integrat, în cadrul căruia fiecare segment contribuie la stabilitatea, controlul postural și propulsia corpului.

Complexul gleznă–picior are un rol fundamental în absorbția șocurilor, adaptarea la suprafața de sprijin și generarea propulsiei în timpul mersului. Mișcările de dorsiflexie și flexie plantară la nivelul gleznei, precum și inversiunea și eversiunea piciorului, se desfășoară într-o succesiune coordonată pe parcursul ciclului de mers. Abaterile de la aceste tipare, precum limitările

de amplitudine sau instabilitatea ligamentară, pot genera modificări ale tiparului locomotor și pot favoriza apariția unor disfuncții biomecanice.

Genunchiul ocupă o poziție centrală în lanțul kinetic al membrului inferior, contribuind la susținerea greutății corporale, absorbția impactului și transmiterea forțelor în timpul mersului și alergării. Deși mișcările principale sunt flexia și extensia, funcționarea genunchiului implică și rotații minore controlate prin interacțiunea dintre structurile articulare, meniscale și ligamentare. Devierea aliniamentului articular sau instabilitatea funcțională pot conduce la modificări ale tiparului de mers și la suprasolicitarea altor segmente ale aparatului locomotor.

Șoldul reprezintă o articulație-cheie pentru stabilizarea corpului și pentru controlul mișcărilor dinamice ale membrului inferior. Prin amplitudinea mare a mișcărilor de flexie-extensie, abducție-adducție și rotație, șoldul contribuie la menținerea echilibrului, la absorbția șocurilor și la generarea propulsiei. Deficitele musculare sau limitările de mobilitate la acest nivel pot produce compensări biomecanice care afectează eficiența mersului.

Coloana vertebrală completează acest ansamblu funcțional prin rolul său de structură centrală de susținere și integrare biomecanică. Aceasta asigură stabilitatea trunchiului, menținerea posturii și distribuția forțelor între segmentele corpului. Mobilitatea segmentară și controlul muscular al trunchiului influențează direct aliniamentul corporal și economia mersului, iar dezechilibrele la acest nivel pot genera compensări în întregul lanț kinetic.

În cadrul prezentei cercetări, analiza acestor structuri este realizată prin metode de evaluare video și procesare numerică a datelor. Utilizarea software-ului Kinovea permite măsurarea unghiurilor articulare în plan bidimensional, iar prelucrarea datelor prin Python facilitează compararea valorilor între subiecți și identificarea unor tipare funcționale relevante.

1.2. Mecanica mersului

Mersul uman reprezintă o activitate locomotorie fundamentală, caracterizată printr-un tipar ciclic de mișcare ce permite deplasarea eficientă a corpului. Din punct de vedere biomecanic, ciclul mersului este definit ca intervalul dintre două contacte succesive ale aceleiași picior cu solul.

Ciclul de mers este împărțit în două faze principale: faza de sprijin și faza de balans. Faza de sprijin reprezintă aproximativ 60% din ciclul total și include contactul inițial, suportul complet

și desprinderea de pe sol. Faza de balans ocupă aproximativ 40% din ciclu și include ridicarea piciorului, balansul mijlociu și pregătirea pentru contactul următor.

În timpul mersului, segmentele corpului acționează într-un mod coordonat pentru a menține stabilitatea și pentru a optimiza consumul energetic. Mișcările articulațiilor membrelor inferioare sunt sincronizate cu mișcările trunchiului și ale brațelor, care contribuie la menținerea echilibrului și la stabilizarea corpului.

Analiza biomecanică a mersului se bazează pe evaluarea unor parametri spațiali, temporali, cinematici și cinetici. Printre aceștia se numără lungimea pasului, durata fazelor de mers, frecvența pașilor, unghiurile articulare și forțele de reacție ale solului. Acești parametri oferă informații relevante despre eficiența mișcării și despre eventualele deviații de la tiparele considerate normale.

În mod tradițional, analiza mersului este realizată în laboratoare biomecanice specializate, utilizând sisteme tridimensionale de captare a mișcării și platforme de forță. Totuși, dezvoltarea tehnologiilor digitale a permis utilizarea unor metode alternative, precum analiza video 2D și procesarea numerică a datelor, care pot furniza estimări valide ale parametrilor de mers în condiții mai accesibile.

1.3. Modele biomecanice ale mersului

Pentru a explica mecanismele implicate în mersul uman, literatura de specialitate a propus mai multe modele teoretice care descriu modul în care energia este utilizată și transferată în timpul deplasării.

Unul dintre cele mai cunoscute modele este modelul celor șase determinanți ai mersului, care descrie mecanismele prin care organismul reduce variația verticală a centrului de masă în timpul mersului. Aceste mecanisme includ rotația și înclinarea pelvisului, flexia genunchiului în faza de sprijin, mișcările articulației gleznei și aliniamentul funcțional al membrului inferior.

Un alt model important este modelul pendulului inversat, care descrie mersul ca o mișcare în care membrul inferior în sprijin funcționează similar unui pendul rigid. În această situație, centrul de masă al corpului se deplasează peste piciorul de sprijin într-un arc de cerc, iar energia mecanică este parțial conservată prin alternanța dintre energia potențială și cea cinetică.

Modelul mersului dinamic propus de McGeer introduce ideea că mersul poate apărea ca rezultat al proprietăților mecanice pasive ale sistemului locomotor. Experimentele realizate cu roboți bipedi au demonstrat că un mers stabil poate fi generat chiar și fără control neuromuscular activ, doar prin interacțiunea dintre gravitație și inerția segmentelor corporale.

Aceste modele nu se exclud reciproc, ci oferă perspective complementare asupra mecanicii mersului. În cadrul prezentei cercetări, ele constituie repere teoretice importante pentru interpretarea parametrilor biomecanici extrași din analiza video și din prelucrarea numerică a datelor.

1.4. Parametrii funcționali ai mișcării

Parametrii funcționali reprezintă indicatori cantitativi care descriu eficiența, stabilitatea și coordonarea mișcărilor aparatului locomotor. Aceștia sunt utilizați în biomecanică pentru evaluarea performanței motrice, identificarea deviațiilor funcționale și monitorizarea evoluției în timp a unei intervenții terapeutice sau de antrenament.

Parametrii funcționali pot fi clasificați în mai multe categorii. Parametrii cinematici descriu modul de desfășurare a mișcării și includ amplitudinile unghiulare, vitezele și accelerațiile segmentelor. Parametrii temporali se referă la durata diferitelor faze ale mișcării, iar parametrii spațiali descriu distanțele și traiectoriile segmentelor corporale. În plus, parametri de simetrie permit evaluarea echilibrului funcțional între membre, iar parametri derivați oferă indicatori sintetici ai performanței locomotorii.

În cadrul acestei lucrări, parametrii funcționali sunt obținuți printr-o metodologie bazată pe filmări video calibrate, analizate cu software-ul Kinovea și prelucrate ulterior prin scripturi dezvoltate în limbajul Python. Această abordare permite extragerea automată a valorilor unghiulare și temporale, analiza statistică a datelor și compararea rezultatelor între subiecți sau între diferite momente ale evaluării.

Importanța acestor parametri constă în faptul că oferă informații obiective despre nivelul funcțional al aparatului locomotor, despre deviațiile față de tiparele considerate normale și despre eficiența intervențiilor terapeutice sau sportive. Prin urmare, analiza parametrilor funcționali reprezintă un instrument esențial pentru evaluarea biomecanică aplicată.

Concluzii ale fundamentării teoretice

Fundamentarea teoretică a lucrării evidențiază complexitatea mecanismelor implicate în mersul uman și necesitatea unei abordări integrative în analiza biomecanică a mișcării. Interacțiunea dintre articulațiile membrului inferior, rolul stabilizator al trunchiului, mecanica ciclului de mers și modelele teoretice existente oferă cadrul conceptual pentru interpretarea datelor biomecanice.

În acest context, utilizarea unor instrumente accesibile precum analiza video cu Kinovea și procesarea numerică a datelor prin Python reprezintă o alternativă modernă pentru evaluarea parametrilor funcționali ai mersului. Această abordare permite realizarea unor analize obiective și reproductibile, cu aplicabilitate în domeniul clinic, educațional și sportiv.

CAPITOLUL II. Extragerea și analiza datelor

Analiza biomecanică a mișcării se bazează în mod tradițional pe sisteme de laborator cu grad ridicat de precizie, alcătuite din camere optice de mare viteză, platforme de forță și software specializat. Aceste sisteme reprezintă standardul de referință pentru evaluarea cinematicii și cineticii mersului, alergării sau altor gesturi motrice complexe. Totuși, costurile ridicate, infrastructura necesară și dificultatea utilizării în afara laboratorului limitează semnificativ aplicabilitatea lor în contexte educaționale, clinice sau sportive curente. Din acest motiv, cercetarea actuală acordă o atenție tot mai mare unor alternative accesibile, portabile și reproductibile, capabile să furnizeze date biomecanice relevante în condiții de teren.

2.1. Analiza biomecanică în laborator

Laboratoarele biomecanice clasice oferă cea mai înaltă precizie pentru evaluarea mișcării umane, prin utilizarea unor sisteme optoelectronice multidimensionale și a platformelor de forță. Acestea permit analiza detaliată a unghiurilor articulare, a traiectoriilor segmentare și a forțelor de reacție ale solului. În pofida avantajelor metodologice, aceste sisteme implică resurse financiare considerabile, personal specializat și condiții logistice greu de reprodus în afara mediului controlat.

În opoziție cu această abordare, dezvoltarea unor sisteme portabile și automatizate a creat premisele unei evaluări biomecanice mai accesibile. Astfel de soluții permit analiza posturii, a mersului și a alergării în medii naturale, fără a depinde de infrastructura unui laborator tradițional. În acest context se înscrie și direcția metodologică a prezentei lucrări, orientată spre utilizarea unor instrumente digitale accesibile, cu aplicabilitate practică extinsă.

2.2. Kinovea – aplicație open-source pentru analiza video 2D a mișcării

Kinovea este un software gratuit și open-source destinat analizei mișcării pe baza înregistrărilor video bidimensionale. Datorită interfeței intuitive, costului nul și posibilității de măsurare a unghiurilor, lungimilor și timpilor, aplicația reprezintă o alternativă viabilă pentru antrenori, kinezioterapeuți, profesori și cercetători interesați de evaluarea funcțională a mișcării.

În cadrul acestei teze, Kinovea a fost ales pentru caracterul său accesibil și pentru posibilitatea standardizării procedurilor de filmare și analiză. Utilizarea sa a presupus un protocol clar: poziționarea camerei în planul de interes, cadrarea completă a subiectului, utilizarea unei

frecvențe adecvate de înregistrare și calibrarea spațială a imaginii printr-o referință cunoscută. În plus, aplicarea unor marcaje anatomice vizibile a facilitat măsurarea unghiurilor articulare și urmărirea segmentelor corporale.

Funcțiile utilizate în analiză au inclus instrumentul de măsurare a unghiurilor, cronometrarea fazelor de mișcare, urmărirea traiectoriilor și exportul datelor în format tabelar. Deși Kinovea este limitat la analiza în plan 2D și depinde de corectitudinea poziționării camerei și a identificării punctelor anatomice, literatura de specialitate susține utilitatea sa în analiza unor sarcini locomotorii simple, precum mersul și alergarea rectilinie. În prezenta cercetare, Kinovea a constituit instrumentul principal pentru extragerea sistematică a parametrilor biomecanici, oferind baza pentru prelucrările ulterioare.

2.3. Ochy – aplicație mobilă de analiză automată a mersului

Ochy este o aplicație mobilă bazată pe inteligență artificială, concepută pentru analiza automată a mersului și alergării direct din înregistrări video efectuate cu smartphone-ul. Aplicația utilizează algoritmi de computer vision și învățare automată pentru a extrage rapid parametri funcționali, fără a necesita senzori externi, marcaje anatomice sau calibrare spațială.

Integrarea Ochy în cercetare a avut un scop comparativ. S-a urmărit evaluarea unei metode complet automatizate în raport cu abordarea semi-automatizată oferită de Kinovea. Parametrii furnizați de Ochy includ unghiuri articulare, lungimea și simetria pasului, durata ciclului de mers, viteza de deplasare și indicatori ai stabilității segmentare.

Avantajele aplicației constau în rapiditatea analizei, ușurința utilizării în teren și accesibilitatea ridicată. Totuși, limitele sale sunt importante din punct de vedere științific: utilizatorul are un control redus asupra procesului de analiză, iar algoritmul intern rămâne opac, ceea ce reduce transparența metodologică. În acest sens, Ochy poate fi considerat un instrument util pentru screening sau monitorizare preliminară, dar mai puțin adecvat pentru cercetări care necesită control strict asupra etapelor de analiză.

2.4. Utilizarea Excel în analiza comparativă

Microsoft Excel a fost utilizat în cadrul lucrării ca instrument complementar pentru organizarea, compararea și reprezentarea datelor biomecanice extrase din Kinovea și Ochy și

prelucrate ulterior în Python. Alegerea sa a fost justificată prin accesibilitate, familiaritate în mediul academic și compatibilitatea excelentă cu fișierele CSV.

În cercetarea de față, Excel a servit la centralizarea datelor brute, calculul valorilor descriptive, compararea parametrilor între membre sau între metode și generarea unor reprezentări grafice sugestive. Structura fișierelor de lucru a permis separarea datelor brute de cele procesate și a inclus tabele comparative și sinteze funcționale pentru fiecare participant.

Un rol important al Excel a fost acela de interfață între extragerea datelor și interpretarea lor. Prin formule și funcții standard au fost calculați indicatori precum mediile, deviațiile standard, diferențele laterale și indicii de simetrie. În plus, programul a facilitat reprezentarea vizuală a variației unghiurilor și a parametrilor temporali, contribuind la claritatea analizei și la susținerea concluziilor.

2.5. Python și analiza numerică a datelor biomecanice

Python a avut un rol central în metodologia lucrării, oferind un cadru flexibil și reproductibil pentru procesarea numerică a datelor biomecanice. Utilizarea sa a fost motivată de capacitatea de a importa rapid datele extrase din fișiere CSV, de a automatiza calculele, de a genera grafice comparative și de a documenta întregul flux de analiză într-o formă transparentă și reutilizabilă.

În cadrul studiilor au fost utilizate biblioteci specifice pentru manipularea datelor, calcule numerice, analiză statistică, reprezentare grafică și integrarea rezultatelor în fișiere Excel. Prin intermediul acestora, a fost posibilă calcularea mediilor și a deviațiilor standard, compararea valorilor între membre, determinarea indicilor de simetrie și identificarea automată a unor diferențe relevante între condițiile de testare.

Fluxul general de analiză a inclus importul datelor, curățarea și structurarea acestora, analiza descriptivă, reprezentarea grafică a evoluției parametrilor și exportul rezultatelor într-o formă ușor de interpretat. Integrarea Python în metodologie a redus riscul erorilor manuale, a crescut rigoarea prelucrării și a oferit cercetării un nivel superior de reproductibilitate. În plus, codurile dezvoltate pot fi adaptate și reutilizate în alte contexte biomecanice, ceea ce susține caracterul practic și extensibil al abordării propuse.

2.6. SPSS

SPSS a fost utilizat ca instrument statistic pentru analiza inferențială a datelor obținute. Programul permite realizarea statisticii descriptive, testarea ipotezelor, analiza varianței, corelațiilor și regresiiilor, fiind frecvent utilizat în cercetarea biomecanică și clinică.

În prezenta lucrare, SPSS a fost folosit pentru organizarea seturilor de date și pentru testarea semnificației diferențelor observate între variabile și condiții de evaluare. Structurarea datelor a urmat principiul conform căruia fiecare rând reprezintă o observație, iar fiecare coloană o variabilă biomecanică. Această organizare a permis aplicarea coerentă a testelor statistice asupra parametrilor spațio-temporali și unghiulari.

Printre analizele posibile și relevante pentru această cercetare se numără testele t pentru eșantioane independente sau perechi, ANOVA pentru comparații multiple, corelațiile Pearson și regresiiile liniare, precum și testele neparametrice pentru loturi mici sau distribuții negaussiene. Avantajul major al SPSS constă în accesibilitate și claritatea interpretării rezultatelor. Limitările sale țin însă de flexibilitatea mai redusă în analiza seriilor temporale și a datelor biomecanice cadru cu cadru, motiv pentru care utilizarea sa a fost completată de Python și Excel.

Concluzii ale capitolului

Capitolul dedicat extragerii și analizei datelor evidențiază complementaritatea dintre diferitele instrumente utilizate în cercetare. Analiza de laborator rămâne standardul de referință, însă metodele accesibile, bazate pe Kinovea, Ochy, Excel, Python și SPSS, oferă o alternativă funcțională și sustenabilă pentru evaluarea biomecanică în condiții reale.

În cadrul acestei lucrări, Kinovea a constituit instrumentul principal de extragere a parametrilor biomecanici, Ochy a oferit o perspectivă comparativă asupra analizelor automatizate, Excel a susținut organizarea și vizualizarea datelor, Python a asigurat prelucrarea numerică avansată, iar SPSS a permis testarea statistică a rezultatelor. Împreună, aceste instrumente au fundamentat o metodologie accesibilă, reproductibilă și aplicabilă în contexte educaționale, clinice și sportive.

PARTEA II

APLICAȚIILE PRACTICE ALE LUCRĂRII

CAPITOLUL III. Studiul 1. Extragerea de date folosind Kinovea

Acest studiu, publicat de Popa și colab. (2023), are caracter aplicativ, descriptiv și experimental și urmărește testarea fezabilității utilizării software-ului open-source **Kinovea** pentru extragerea unor date biomecanice relevante în condiții accesibile, non-laboratoriale. Designul cercetării a fost unul transversal, observațional, cu o componentă mixtă, îmbinând analiza cantitativă a parametrilor cinematici și temporali cu evaluarea calitativă a mișcării. Studiul a avut ca finalitate verificarea utilității practice a unei metode accesibile de analiză biomecanică, aplicabilă în contexte educaționale, clinice și sportive.

Scopul cercetării a fost analiza și validarea utilizării unor instrumente gratuite și ușor de implementat pentru evaluarea biomecanică a mișcării, cu accent pe aplicația Kinovea, completată de Python și Excel pentru organizarea, prelucrarea și compararea datelor. În mod specific, studiul a urmărit validarea utilizării Kinovea pentru măsurarea unghiurilor articulare în plan 2D, testarea posibilităților de analiză numerică ulterioară, identificarea simetriei funcționale și formularea unor recomandări metodologice pentru aplicarea protocolului în practică.

Eșantionul a fost alcătuit din 20 de participanți voluntari sănătoși, cu vârste între 20 și 22 de ani, repartizați egal pe sexe. Toți subiecții erau activi fizic, fără accidentări recente și fără limitări locomotorii declarate. Alegerea unui lot omogen a urmărit reducerea variabilelor de confuzie și creșterea validității interne a studiului. Sarcina motrică analizată a fost **săritura verticală**, executată fără pregătire prealabilă.

Colectarea datelor s-a realizat prin filmare video în planurile relevante, urmată de importul fișierelor în Kinovea 0.9.5 și de calibrarea imaginilor pe baza unei dimensiuni de referință cunoscute. Au fost marcate punctele anatomice relevante la nivelul gleznei, genunchiului și șoldului, iar analiza s-a concentrat asupra a trei momente esențiale ale mișcării: poziția inițială, vârful săriturii și aterizarea. Datele extrase au fost exportate în format CSV și prelucrate ulterior

în Excel și Python, ceea ce a permis organizarea sistematică a informațiilor, compararea valorilor între subiecți și interpretarea acestora din perspectivă funcțională.

Indicatorii biomecanici analizați au inclus unghiurile articulare ale membrului inferior, deplasarea verticală estimată a corpului, simetria funcțională între membre, timpul total al execuției și aliniamentul segmentar. Măsurarea acestor indicatori a permis evaluarea pregătirii pentru impuls, a eficienței propulsiei, a controlului aterizării și a eventualelor deviații de aliniament. Procedura de analiză a fost standardizată și realizată de același operator, iar unele măsurători au fost repetate pentru verificarea consistenței.

Rezultatele au arătat că metoda utilizată permite extragerea unor parametri biomecanici relevanți cu un nivel satisfăcător de consistență. Unghiul mediu de flexie a genunchiului în faza de impuls a fost de aproximativ 85° ($\pm 7^{\circ}$), fără diferențe semnificative între membre, ceea ce sugerează o bună simetrie funcțională. La șold, extensia medie în vârful săriturii a fost de 20° ($\pm 5^{\circ}$), iar la gleznă s-a înregistrat o plantarflexie medie de 15° în momentul decolării. Înălțimea medie estimată a săriturii a fost de 38 cm (± 4 cm), iar timpul total mediu al execuției a fost de 0,78 secunde ($\pm 0,09$). Diferența medie între membre la nivelul genunchiului a fost de aproximativ 2° , ceea ce indică un nivel bun de echilibru biomecanic.

Un aspect important evidențiat de analiză a fost identificarea unor tendințe de deviație frontală la nivelul genunchiului, în special valgus dinamic la unii participanți în fazele de aterizare. Deși aceste deviații nu au afectat semnificativ performanța globală, ele au relevat utilitatea metodei ca instrument de screening funcțional și de prevenție a accidentărilor.

Studiul a fost realizat cu respectarea principiilor etice ale cercetării pe subiecți umani. Participanții au semnat consimțământ informat înainte de includerea în studiu, au fost informați cu privire la scopul cercetării, la procedurile utilizate și la dreptul de retragere în orice moment, iar datele colectate au fost anonimizate și stocate în condiții de securitate.

În concluzie, studiul a demonstrat că utilizarea software-ului Kinovea, în combinație cu prelucrarea numerică în Python și organizarea datelor în Excel, reprezintă o soluție accesibilă, eficientă și reproductibilă pentru evaluarea biomecanică a mișcărilor funcționale. Metoda a permis extragerea unor indicatori relevanți privind unghiurile articulare, simetria mișcării, parametrii temporali și aliniamentul segmentar, oferind o bază solidă pentru utilizarea acestor instrumente în

educație fizică, recuperare și sport. Limitele studiului țin de dimensiunea redusă a eșantionului și de caracterul bidimensional al analizei, aspecte care justifică extinderea cercetării prin studii viitoare pe loturi mai mari și în condiții metodologice complementare.

CAPITOLUL IV. Studiul 2. Analiza datelor folosind Python

Acest studiu are caracter aplicativ, explorator-experimental și urmărește dezvoltarea și testarea unei metode accesibile de analiză biomecanică prin utilizarea instrumentelor digitale open-source. Cercetarea propune integrarea limbajului de programare Python în analiza mișcării umane, în combinație cu analiza video realizată prin Kinovea, pentru prelucrarea și interpretarea parametrilor biomecanici ai săriturii verticale.

Designul cercetării a fost de tip mixt, combinând analiza cantitativă a parametrilor biomecanici cu reprezentarea grafică și interpretarea computațională a datelor. Studiul are caracter transversal și observațional, datele fiind colectate într-un singur moment temporal pentru fiecare participant, fără manipulări experimentale asupra condițiilor de execuție a mișcării. Metodologia a fost concepută astfel încât să permită reproducerea analizei utilizând resurse tehnice minime și instrumente software gratuite.

Scopul principal al cercetării a fost dezvoltarea și validarea unei metodologii accesibile pentru analiza biomecanică a săriturilor verticale, utilizând limbajul de programare Python pentru procesarea, organizarea și vizualizarea datelor extrase din analiza video. Obiectivele au inclus dezvoltarea unui algoritm de analiză a datelor biomecanice, automatizarea extracției parametrilor relevanți, utilizarea bibliotecilor Python pentru reprezentarea grafică a rezultatelor și evaluarea eficienței metodei în raport cu cerințele de accesibilitate și reproductibilitate.

Eșantionul cercetării a fost alcătuit din 56 de participanți, bărbați și femei, cu vârste cuprinse între 20 și 44 de ani. Toți subiecții erau sănătoși, activi fizic și fără accidentări locomotorii în ultimele șase luni. Participanții au executat câte o săritură verticală de pe loc, fără fază de elan, pentru a surprinde comportamentul motric spontan în condiții cât mai apropiate de situațiile reale de mișcare.

Colectarea datelor s-a realizat prin înregistrări video realizate cu două camere Canon EOS M50 montate pe trepiede la o înălțime de 1,3 m. Filmarea a fost efectuată simultan în plan sagital și frontal pentru a surprinde mișcarea articulațiilor în cele două planuri principale de analiză. Pentru facilitarea identificării segmentelor corporale au fost aplicate markere vizuale la nivelul crestei iliace, marelui trohanter, genunchilor și maleolelor.

Înregistrările video au fost analizate inițial în Kinovea, unde au fost identificate două momente biomecanice esențiale ale săriturii: poziția cea mai joasă din faza excentrică și punctul maxim al fazei aeriene. Pentru fiecare dintre aceste momente au fost măsurate unghiurile articulațiilor genunchilor și poziția ȝoldurilor. Înălțimea săriturii a fost estimată prin diferența dintre poziția ȝoldurilor în poziția inițială și cea din vârful săriturii.

Datele extrase au fost organizate într-un fișier Excel și importate ulterior în Python pentru procesarea numerică. Scripturile dezvoltate au permis conversia valorilor unghiulare în deviații față de poziția neutră (180°), clasificarea automată a deviațiilor genunchilor (genu varum, genu valgum, genu recurvatum sau genu flexum) și corelarea acestora cu parametri funcționali precum înălțimea săriturii. Procesarea datelor a fost realizată cu ajutorul bibliotecilor Pandas, NumPy și Matplotlib, care au permis organizarea datelor, realizarea analizelor comparative și generarea reprezentărilor grafice.

Indicatorii biomecanici analizați au inclus unghiurile articulațiilor genunchilor, deviațiile frontale și sagitale ale axului membrului inferior, simetria funcțională între membre și înălțimea săriturii. Unghiurile genunchilor au fost evaluate atât în faza de pregătire a săriturii, cât și în faza aeriană, fiind analizate abaterile față de aliniamentul neutru. Analiza comparativă între membrul inferior stâng și cel drept a permis evaluarea simetriei mișcării și identificarea eventualelor dezechilibre funcționale.

Rezultatele obținute au evidențiat variații individuale semnificative ale deviațiilor genunchilor în plan frontal și sagital. Analiza datelor a indicat o tendință generală de genu varum în cazul subiecților de sex masculin și de genu valgum în cazul subiecților de sex feminin, atât în faza de pregătire, cât și în faza aeriană a săriturii. De asemenea, înălțimea săriturii a prezentat corelații cu poziția genunchilor și cu amplitudinea flexiei inițiale, sugerând influența alinierii segmentare asupra performanței biomecanice.

Datele procesate au fost reprezentate sub formă de tabele și grafice comparative, facilitând interpretarea deviațiilor și identificarea relațiilor dintre variabile. Integrarea analizei video cu prelucrarea numerică în Python a permis organizarea sistematică a datelor și generarea rapidă a indicatorilor biomecanici relevanți.

Studiul a fost realizat cu respectarea principiilor etice ale cercetării pe subiecți umani. Participanții au semnat consimțământ informat înainte de participare, iar datele au fost anonimizate și utilizate exclusiv în scopuri științifice, conform reglementărilor privind protecția datelor.

În concluzie, rezultatele studiului demonstrează că integrarea analizei video realizate prin Kinovea cu procesarea numerică în Python reprezintă o metodă accesibilă și eficientă pentru evaluarea parametrilor biomecanici ai săriturii verticale. Metodologia propusă permite extragerea și interpretarea rapidă a indicatorilor biomecanici relevanți și poate fi utilizată în contexte educaționale, sportive și clinice. De asemenea, abordarea digitală adoptată facilitează automatizarea analizei și oferă premisele dezvoltării unor sisteme de evaluare biomecanică bazate pe metode data-driven.

CAPITOLUL V. Studiul 3. Utilizarea mijloacelor de extragere și analiză a datelor înregistrate pre- și post-intervenție decontracturantă

Acest studiu are caracter aplicativ și explorator și urmărește evaluarea efectelor imediate ale unei tehnici de decontracturare musculară asupra mobilității cervicale, prin măsurarea amplitudinii mișcării înainte și după intervenție. Designul cercetării a fost de tip pretest–posttest, fără grup de control, cu două momente de evaluare pentru fiecare participant: înainte și imediat după aplicarea tehnicii. Această abordare a permis evidențierea rapidă a modificărilor de mobilitate într-un cadru practic, cu relevanță directă pentru kinetoterapie.

Scopul principal al studiului a fost evaluarea modificărilor intervalului de mobilitate articulară la nivel cervical imediat după aplicarea unei tehnici de decontracturare musculară, utilizând analiza video bidimensională prin software-ul Kinovea. Cercetarea a urmărit să verifice dacă această intervenție simplă, neinvazivă și ușor de aplicat poate produce modificări semnificative ale mobilității funcționale într-un interval scurt de timp.

Eșantionul a fost alcătuit din 25 de participanți sănătoși, dintre care 13 bărbați și 12 femei, cu vârste cuprinse între 19 și 32 de ani. Toți subiecții erau clinic apți, fără dureri cervicale actuale, traumatisme anterioare semnificative sau patologii structurale cunoscute la nivelul coloanei cervicale. Participanții au fost selectați pe baza unor criterii stricte de includere și excludere, pentru a asigura omogenitatea funcțională a lotului.

Evaluarea s-a desfășurat în condiții standardizate, subiecții fiind poziționați în decubit dorsal și decubit ventral. În ambele posturi, li s-a solicitat să efectueze rotații active ale capului spre stânga și spre dreapta. Mișcările au fost înregistrate video cu o cameră fixată perpendicular pe planul frontal, iar analiza unghiurilor de rotație a fost realizată în Kinovea. Pentru creșterea acurateței măsurărilor au fost utilizați markeri vizuali aplicați la nivelul mentonului, punții nasului și acromionului drept, ceea ce a permis trasarea vectorilor de analiză și determinarea unghiurilor de rotație în raport cu trunchiul.

Procedura a fost aplicată de două ori pentru fiecare participant: înainte de intervenție și imediat după aceasta. În total, pentru fiecare subiect au fost obținute opt valori: rotația stângă și

dreaptă în decubit dorsal și ventral, în condiții pre- și post-intervenție. Datele au fost centralizate într-un set de date unic și analizate ulterior statistic.

Intervenția aplicată a constat într-o tehnică de decontracturare musculară prin presiune manuală locală controlată, cu efect ischemic temporar asupra zonelor cu hipertonus. Presiunea a fost aplicată în condiții de relaxare, pe segmente stabilizate, cu scopul reducerii temporare a tonusului muscular și al creșterii mobilității segmentare. Durata intervenției a fost atent dozată pentru a evita reacții adverse și pentru a păstra caracterul sigur și clinic aplicabil al tehnicii.

Indicatorii biomecanici analizați au fost reprezentați de unghiurile de rotație activă cervicală spre stânga și spre dreapta, în cele două poziții de testare. Comparabilitatea măsurătorilor a fost asigurată prin utilizarea acelorași repere, a aceleași metode de analiză și a acelorași condiții de testare înainte și după intervenție. Valorile au fost exprimate în grade și interpretate atât numeric, cât și din perspectivă funcțională.

Analiza statistică a fost realizată în IBM SPSS Statistics 20, utilizând testul t pentru eșantioane pereche. Rezultatele au evidențiat creșteri semnificative statistic ale mobilității cervicale în toate cele patru tipuri de mișcare evaluate. Diferențele medii au fost de $+9,5^\circ$ pentru rotația stângă în decubit ventral, $+10,5^\circ$ pentru rotația dreaptă în decubit ventral, $+7,4^\circ$ pentru rotația stângă în decubit dorsal și $+9,1^\circ$ pentru rotația dreaptă în decubit dorsal, toate cu valori $p < 0,05$. Aceste rezultate indică un efect pozitiv clar al tehnicii de decontracturare asupra amplitudinii mișcărilor active cervicale.

La un număr redus de participanți s-au observat diferențe mai mici între valorile inițiale și finale, explicabile prin apropierea acestora de limitele fiziologice ale amplitudinii de mișcare. Într-un singur caz a fost înregistrată o diferență negativă foarte mică, fără impact asupra tendinței generale a lotului.

Studiul a fost realizat cu respectarea principiilor etice aplicabile cercetării pe subiecți umani. Toți participanții au semnat consimțământ informat, iar datele au fost anonimizate și utilizate exclusiv în scop științific, în conformitate cu normele de protecție a datelor.

În concluzie, studiul a demonstrat că tehnica de decontracturare musculară aplicată prin presiune locală controlată produce creșteri imediate și semnificative ale mobilității cervicale la subiecți sănătoși. Totodată, utilizarea Kinovea s-a dovedit eficientă pentru măsurarea obiectivă și

reproductibilă a amplitudinii de mișcare, confirmând utilitatea metodei atât în evaluarea intervențiilor kinetoterapeutice, cât și în monitorizarea modificărilor funcționale musculo-articulare.

CAPITOLUL VI. Studiul 4. Folosirea programelor open-source ca mijloace alternativă de analiză biomecanică

Acest studiu are caracter aplicativ, descriptiv-comparativ și urmărește evaluarea fezabilității utilizării software-ului open-source în analiza biomecanică a mersului. Cercetarea a fost orientată spre testarea acurateței și utilității unor instrumente accesibile pentru evaluarea parametrilor cinematici ai membrelor inferioare, în raport cu cerințele metodologice ale analizei biomecanice actuale. Prin utilizarea unui protocol standardizat de captare video și analiză bidimensională, studiul a urmărit validarea practică a unor metode cu cost redus, aplicabile în contexte clinice, educaționale și sportive.

Scopul principal al cercetării a fost evaluarea potențialului software-ului open-source de a furniza rezultate valide și reproductibile în analiza biomecanică a mersului, cu accent pe comportamentul gleznei la viteze diferite de deplasare. În mod specific, studiul a urmărit măsurarea unor variabile cinematice relevante și verificarea măsurii în care acestea pot fi gestionate și interpretate eficient prin integrarea Kinovea, Excel și Python. Totodată, cercetarea a vizat elaborarea unui cadru metodologic replicabil, capabil să susțină extinderea accesului la evaluarea biomecanică prin mijloace tehnice accesibile.

Eșantionul cercetării a fost alcătuit din 10 adulți sănătoși, monitorizați într-un cabinet de kinetoterapie. Toți participanții erau clinic funcționali, fără antecedente traumatice la nivelul segmentelor analizate în ultimul an. Subiecții au fost filmați în timpul mersului pe bandă rulantă, în condiții standardizate, pentru a permite observarea și evaluarea unor etape distincte ale ciclului de mers.

Colectarea datelor s-a realizat prin filmare video cu două camere setate la 50 FPS, stabilizate pe trepiede. Înregistrările au fost efectuate din plan frontal și posterior-lateral, pentru a surprinde atât mișcările de flexie plantară și dorsiflexie, cât și deviațiile laterale ale gleznei de tip talovalgum sau talovarum. Pentru creșterea preciziei măsurărilor au fost aplicați markeri anatomici la nivelul tendonului lui Ahile, al maleolelor și al altor repere relevante pentru analiza gleznei.

Analiza în Kinovea a vizat patru etape-cheie ale ciclului de mers, codificate cromatic, iar pentru două dintre acestea au fost măsurate și distanțele dintre articulațiile gleznelor. Datele extrase au fost organizate într-un fișier Excel structurat pe variabile independente și dependente, incluzând identificatorul subiectului, genul, viteza de deplasare, unghiurile măsurate și timpii ciclului de mers pentru fiecare membru inferior. Pentru a facilita procesarea numerică, valorile au fost convertite în grade raportate la referința neutră de 180° , abaterea fiind exprimată pornind de la 0° .

Un rol important în această etapă l-a avut prelucrarea automată în Python. Datele au fost recodificate algoritmic în trei clase de abatere: codul 1 pentru deviații mici, codul 2 pentru deviații moderate și codul 3 pentru deviații mari. Ulterior, aceste coduri au fost asociate unor culori convenționale în Excel, ceea ce a permis o interpretare rapidă și intuitivă a influenței vitezei de mers asupra gradului de abatere articulară. Automatizarea acestei etape a redus semnificativ efortul de procesare și a crescut reproductibilitatea metodei.

Indicatorii biomecanici analizați au inclus unghiurile de flexie plantară și dorsiflexie, deviațiile laterale ale gleznei, distanțele dintre reperele anatomice și timpii fazelor de sprijin și balans. Acești indicatori au fost evaluați pentru fiecare dintre cele patru etape-cheie ale mersului și pentru diferite viteze de deplasare, oferind o perspectivă detaliată asupra variațiilor biomecanice ale gleznei în condiții controlate.

Analiza statistică a evidențiat o distribuție ne-normală pentru majoritatea variabilelor, confirmată de testul Shapiro–Wilk. Evaluarea skewness și kurtosis a arătat prezența unor distribuții asimetrice și leptokurtice pentru o parte importantă dintre variabile, ceea ce a justificat utilizarea unor teste neparametrice și a unor metode robuste de interpretare. Analiza multivariată prin Pillai's Trace a indicat existența unui efect al vitezei de mers asupra variabilelor dependente, însă fără a atinge un prag suficient de ridicat pentru a susține o influență semnificativă asupra tuturor variabilelor analizate. În plus, testul de corelație Spearman a evidențiat doar câteva relații moderate între viteză și variabilele biomecanice, cea mai mare valoare a coeficientului fiind de 0,529.

Din punct de vedere interpretativ, rezultatele au sugerat existența unei tendințe de creștere a gradului de abatere odată cu creșterea vitezei de mers, însă acest efect nu s-a manifestat uniform pentru toate variabilele. Reprezentarea numerică și cromatică a datelor a facilitat observarea acestor tendințe și a demonstrat utilitatea combinației dintre analiza video, codificarea algoritmică și reprezentarea vizuală a rezultatelor.

Studiul a fost realizat cu respectarea principiilor etice aplicabile cercetării pe subiecți umani. Toți participanții au fost informați cu privire la obiectivele și procedurile studiului, au semnat consimțământ informat, iar datele au fost anonimizate și protejate conform normelor în vigoare.

În concluzie, studiul a demonstrat că utilizarea software-ului open-source, în special Kinovea, completat de prelucrarea în Python și organizarea datelor în Excel, reprezintă o alternativă viabilă pentru analiza biomecanică a mersului. Metoda propusă permite evaluarea unor parametri relevanți ai gleznei și ai ciclului de mers prin mijloace accesibile, cu un grad bun de reproductibilitate și cu aplicabilitate practică în kinetoterapie, sport și educație fizică. Rezultatele susțin potențialul tehnologiilor open-source în analiza biomecanică și indică necesitatea unor studii viitoare pe eșantioane mai mari pentru consolidarea concluziilor.

CAPITOLUL VII. Cercetarea privind folosirea programelor Kinovea și Python ca mijloace alternative și accesibile de analiză biomecanică

Mersul uman reprezintă una dintre cele mai importante forme de locomoție și, totodată, un indicator relevant al stării funcționale a aparatului locomotor. Deși aparent automatizat, mersul este influențat de numeroși factori biomecanici, fiziologici, neurologici și de mediu, care pot modifica parametrii săi funcționali. În acest context, analiza biomecanică a mersului oferă informații valoroase despre echilibru, postură, eficiența mișcării și eventualele deviații segmentare.

Premisa de la care a pornit cercetarea a fost că instrumente digitale accesibile, precum Kinovea și Python, pot furniza rezultate comparabile cu cele generate de aplicații automatizate bazate pe inteligență artificială, precum Ochy, în ceea ce privește evaluarea deviațiilor gleznei în timpul mersului. Prin urmare, studiul a urmărit validarea unei metode alternative, reproductibile și cu cost redus, aplicabilă în contexte educaționale, clinice și sportive.

7.1. Scopul, obiectivele și ipoteza cercetării

Scopul principal al cercetării a fost evaluarea fiabilității și aplicabilității unor metode alternative de analiză biomecanică a mersului, prin compararea rezultatelor furnizate de platforma Ochy cu cele obținute prin combinația Kinovea + Python. Analiza s-a concentrat asupra deviațiilor gleznei în diferite condiții de testare, înainte și după pregătirea organismului pentru efort și la viteze diferite de deplasare.

Obiectivul general a constat în determinarea gradului de concordanță și a acordului absolut dintre cele două abordări de analiză. Obiectivele specifice au inclus evaluarea mersului la 3 km/h și 6 km/h, înainte și după încălzire, extragerea unghiurilor de deviație ale gleznei, prelucrarea și codificarea lor în Python, calcularea corelațiilor Pearson, determinarea coeficientului de corelație intraclasa (ICC), aplicarea analizei Bland–Altman și identificarea influenței vitezei și a încălzirii asupra valorilor măsurate.

Ipoteza de lucru a fost că analiza deviațiilor gleznei realizată cu ajutorul Ochy și cea efectuată prin Kinovea, cu prelucrare ulterioară în Python, va evidenția valori puternic corelate, un grad ridicat de concordanță absolută și un bias minim între metode, în toate condițiile de testare.

7.2. Metodologia cercetării

Cercetarea a fost realizată pe un eșantion de 30 de adulți sănătoși, cu vârste cuprinse între 19 și 35 de ani, fără disfuncții motorii evidente și fără simptome algice la momentul testării. Subiecții au fost selectați astfel încât să reprezinte un lot funcțional sănătos, adecvat pentru analiza comparativă a mersului.

Testările au fost efectuate într-o sală de kinetoterapie, utilizând o bandă de mers motorizată setată la două viteze: 3 km/h și 6 km/h. Fiecare participant a fost testat în aceleași condiții metodologice, înainte și după o secvență standardizată de pregătire a organismului pentru efort, realizată conform principiilor didactice din educația fizică și constând în exerciții de activare generală, mobilizare articulară, activare musculară și reacomodare la efort.

Înregistrările video au fost realizate cu o cameră Canon EOS M50, poziționată posterior, în planul de interes, astfel încât să surprindă segmentul de la bazin până la nivelul distal al membrelor inferioare. Analiza a vizat două momente-cheie ale ciclului pasului: ultima parte a fazei de sprijin și momentul contactului cu călcâiul. Pentru fiecare picior au fost extrase valorile unghiurilor de deviație ale gleznei în raport cu reperele anatomice vizibile.

7.3. Instrumente și prelucrarea datelor

Pentru analiză au fost utilizate patru instrumente principale: Kinovea 0.9.5 pentru extragerea manuală a unghiurilor, Ochy pentru analiza automatizată bazată pe inteligență artificială, Microsoft Excel pentru centralizarea datelor și Python pentru recodificarea și standardizarea valorilor. Analiza statistică a fost realizată în IBM SPSS Statistics 20.

Datele au fost organizate în funcție de picior, viteză, momentul testării și instrumentul utilizat. În Python, valorile unghiulare obținute prin Kinovea au fost recalibrate față de poziția neutră de 180°, iar deviațiile au fost exprimate pornind de la 0°. Devierile mediale și laterale au fost codificate prin semn pozitiv și negativ, iar valorile au fost ulterior grupate în trei clase de severitate: deviații minime (0°–9,99°), moderate (10°–24,99°) și accentuate ($\geq 25^\circ$). Codificarea numerică a fost completată printr-o codificare cromatică în Excel, pentru a facilita interpretarea vizuală a datelor.

Această etapă de procesare a permis standardizarea datelor și aplicarea rapidă a aceluiași algoritm asupra unor seturi noi de valori, crescând reproductibilitatea și reducând timpul de analiză.

CAPITOLUL VIII. Rezultate obținute și prelucrarea statistică a rezultatelor cercetării

Pentru evaluarea relației și a acordului dintre metodele de analiză utilizate au fost aplicate testul t pentru eșantioane pereche, coeficientul de corelație Pearson, coeficientul de corelație intraclasa (ICC) și analiza Bland–Altman.

8.1. Rezultate

Rezultatele au evidențiat corelații foarte puternice între valorile furnizate de Ochy și cele extrase prin Kinovea, în toate condițiile experimentale. Pentru mersul la 3 km/h înainte de pregătirea organismului pentru efort, coeficienții Pearson au fost de 0,908 pentru piciorul stâng și 0,909 pentru piciorul drept. După încălzire, la aceeași viteză, corelațiile au crescut la 0,957 pentru piciorul stâng și 0,987 pentru piciorul drept. La viteza de 6 km/h, după pregătirea organismului pentru efort, valorile Pearson au rămas extrem de ridicate: 0,986 pentru piciorul stâng și 0,977 pentru piciorul drept. Toate corelațiile au fost statistic semnificative ($p < 0,001$).

Analiza prin coeficientul de corelație intraclasa a confirmat o concordanță excelentă între cele două metode. Valoarea ICC pentru măsurători individuale a fost 0,956, iar pentru mediile măsurărilor 0,978, ambele cu intervale de încredere strânse și semnificație statistică ridicată. Aceste rezultate indică un grad foarte mare de fiabilitate și susțin utilizarea comparabilă a celor două metode în analiza deviațiilor gleznei în mers.

Analiza Bland–Altman a arătat un bias foarte redus între metode, în general apropiat de 0° , fără tendințe sistematice de supra- sau subestimare. Limitele de acord au variat între aproximativ $\pm 1,5^\circ$ și $\pm 4,5^\circ$, în funcție de condiția experimentală. Cele mai bune valori de acord au fost observate după pregătirea organismului pentru efort, în special la 3 km/h pentru piciorul drept, unde bias-ul a fost de aproximativ $0,157^\circ$, iar limitele de acord au fost restrânse. În ansamblu, aceste rezultate indică un acord foarte bun între metode și sugerează posibilitatea utilizării lor interschimbabile în analiza mersului funcțional.

8.2. Discuții

Rezultatele obținute confirmă ipoteza principală a cercetării și arată că instrumentele digitale accesibile, precum Kinovea și Python, pot oferi rezultate foarte apropiate de cele generate

de o platformă comercială automatizată bazată pe inteligență artificială. Valorile ridicate ale coeficienților Pearson și ICC, precum și bias-urile minime identificate prin analiza Bland–Altman, susțin fiabilitatea și validitatea abordării propuse.

Deși Ochy are avantajul automatizării și al rapidității, rezultatele nu justifică întotdeauna diferența de cost în raport cu Kinovea, mai ales atunci când analiza este realizată riguros și standardizat. Kinovea, completat de prelucrarea în Python, oferă transparență metodologică, control asupra procesului de analiză și posibilitatea personalizării procedurilor, ceea ce îl face deosebit de valoros în mediile academice, clinice și sportive cu resurse limitate.

Pe de altă parte, utilizarea Kinovea presupune o anumită experiență a operatorului, ceea ce poate introduce variații între evaluatori. Totuși, acest neajuns poate fi diminuat prin instruire și standardizarea procedurilor de filmare și analiză.

8.3. Concluzii finale ale cercetării

Cercetarea a demonstrat că există o concordanță foarte ridicată între analiza biomecanică a gleznei realizată cu platforma Ochy și cea obținută prin Kinovea, cu prelucrare ulterioară în Python. Corelațiile dintre metode au fost foarte puternice în toate condițiile de testare, valorile ICC au indicat o fiabilitate excelentă, iar analiza Bland–Altman a evidențiat diferențe medii minime și limite de acord acceptabile pentru analiza mersului.

Prin urmare, rezultatele confirmă că utilizarea combinată a Kinovea și Python reprezintă o alternativă fiabilă, accesibilă și reproductibilă pentru analiza biomecanică a mersului, comparabilă cu soluțiile automatizate mai costisitoare. Această concluzie susține obiectivul general al tezei, și anume dezvoltarea și validarea unor metode alternative și accesibile de analiză biomecanică, aplicabile în cercetare, kinezoterapie, educație fizică și sport de performanță.

8.4. Limitări și perspective viitoare

Printre principalele limitări ale studiului se numără dimensiunea relativ redusă a eșantionului, care restrânge generalizarea concluziilor la alte categorii populaționale, precum și utilizarea unei frecvențe video de 50 fps, suficientă pentru mers, dar potențial limitativă pentru mișcări mai rapide sau mai complexe. De asemenea, extragerea manuală a datelor în Kinovea introduce o posibilă sursă de variabilitate dependentă de operator.

În perspectivă, cercetarea poate fi extinsă la alte categorii de subiecți — sportivi de performanță, vârstnici, copii sau persoane cu afecțiuni locomotorii — și poate include comparații cu sisteme tridimensionale de analiză biomecanică. De asemenea, dezvoltarea unor proceduri semi-automate pentru Kinovea și investigarea fiabilității inter-evaluator ar putea consolida și mai mult aplicabilitatea practică a metodei propuse.

Concluzii generale ale tezei

Prezenta teză a urmărit dezvoltarea, testarea și validarea unor metode alternative, accesibile și reproductibile de analiză biomecanică, utilizând în principal software-ul open-source **Kinovea** și limbajul de programare **Python**, în comparație și complementaritate cu alte instrumente digitale precum **Excel** și **SPSS**. Demersul a avut ca punct de plecare nevoia tot mai evidentă de democratizare a accesului la evaluarea biomecanică, în condițiile în care laboratoarele clasice rămân costisitoare, greu accesibile și dificil de utilizat în contexte aplicative curente.

Fundamentarea teoretică a evidențiat complexitatea mersului uman și necesitatea unei abordări integrative, care să ia în considerare rolul funcțional al gleznei, genunchiului, șoldului și coloanei vertebrale, precum și modelele biomecanice care explică economia și organizarea mișcării. În acest context, utilizarea unor instrumente digitale accesibile s-a dovedit justificată științific și relevantă practic.

Rezultatele studiilor aplicative incluse în teză susțin în mod consecvent valoarea metodologică a combinației Kinovea–Python. Studiile dedicate extragerii datelor prin Kinovea și procesării lor ulterioare în Python au demonstrat că pot fi obținuți parametri biomecanici relevanți privind unghiurile articulare, simetria mișcării, deviațiile segmentare și performanța motrică, într-un mod clar, reproductibil și ușor de interpretat. În cazul săriturii verticale, metoda a permis evidențierea unor tipare funcționale și posturale, precum tendințe diferite de aliniament al genunchilor în funcție de sex, precum și relații între poziționarea segmentară și performanța biomecanică.

Studiul privind mobilitatea cervicală a demonstrat că analiza video prin Kinovea poate surprinde în mod obiectiv modificările funcționale produse imediat după o intervenție decontracturantă. Creșterile semnificative statistic ale amplitudinii de rotație cervicală au confirmat atât eficiența tehnicii aplicate, cât și utilitatea instrumentelor digitale accesibile în evaluarea intervențiilor terapeutice.

Studiul privind utilizarea programelor open-source în analiza mersului a arătat că, deși eșantionul a fost redus, volumul și complexitatea datelor biomecanice pot fi gestionate eficient prin integrarea Kinovea, Excel și Python. Această abordare a permis standardizarea și codificarea

valorilor, precum și observarea unor tendințe de modificare a deviațiilor gleznei în raport cu viteza de deplasare.

Cercetarea centrală a tezei, care a comparat platforma Ochy cu combinația Kinovea + Python, a reprezentat principala contribuție originală a lucrării. Rezultatele au arătat corelații foarte puternice între cele două metode de analiză, în toate condițiile de testare, atât înainte, cât și după pregătirea organismului pentru efort și la viteze diferite de mers. Valorile ridicate ale coeficientului Pearson și ale coeficientului de corelație intraclasa, precum și bias-ul minim evidențiat prin analiza Bland–Altman, susțin concluzia că metodele alternative propuse sunt fiabile și, în multe situații, comparabile cu instrumente automatizate mai costisitoare.

Prin urmare, ipotezele de cercetare formulate la începutul lucrării au fost, în mare măsură, confirmate. Analiza video 2D realizată cu Kinovea, în condiții standardizate, permite estimarea adecvată a unor unghiuri articulare și parametri funcționali relevanți. Prelucrarea numerică în Python contribuie semnificativ la obiectivarea, standardizarea și interpretarea datelor. Metoda combinată poate evidenția diferențe funcționale între subiecți și între condiții de testare și poate constitui o alternativă viabilă pentru contexte educaționale, sportive și clinice.

Contribuția principală a tezei constă în validarea unei metodologii de analiză biomecanică bazate pe instrumente accesibile, gratuite și extensibile, capabile să ofere date utile pentru evaluarea funcțională a mișcării. Dincolo de rezultatele punctuale, lucrarea propune un model de lucru aplicabil în practică, care poate reduce dependența de infrastructura laboratorului clasic și poate facilita integrarea evaluării obiective în activitatea specialiștilor din kinetoterapie, educație fizică și sport.

Totodată, teza evidențiază și dimensiunea formativă a acestei abordări. Integrarea competențelor de analiză video, procesare de date și programare în formarea specialiștilor din știința mișcării poate contribui la dezvoltarea unei culturi a evaluării obiective, bazate pe date, și la creșterea autonomiei profesionale în contexte cu resurse limitate.

În ansamblu, cercetarea confirmă faptul că utilizarea programelor **Kinovea** și **Python** ca mijloace alternative și accesibile de analiză biomecanică nu reprezintă doar o soluție tehnică oportună, ci și o direcție metodologică solidă, cu potențial real de dezvoltare în cercetarea aplicată și în practica profesională curentă.

Limitări ale cercetării

Deși rezultatele obținute în cadrul acestei cercetări confirmă validitatea și utilitatea utilizării instrumentelor digitale accesibile în analiza biomecanică, există o serie de limitări care trebuie menționate.

Prima limitare este reprezentată de dimensiunea relativ redusă a eșantionului utilizat în cercetarea principală. Deși lotul de 30 de participanți a permis realizarea analizelor statistice necesare și obținerea unor rezultate semnificative, extinderea studiului la eșantioane mai mari ar permite o generalizare mai solidă a concluziilor și o evaluare mai complexă a variabilității individuale.

O altă limitare este legată de caracteristicile tehnice ale sistemului de captare video. Înregistrările au fost realizate la o frecvență de aproximativ 50 cadre pe secundă, ceea ce este suficient pentru analiza mersului normal, însă poate limita precizia măsurărilor în cazul mișcărilor rapide sau complexe. În cercetări viitoare, utilizarea unor camere cu frecvențe mai mari de captare ar putea îmbunătăți acuratețea analizei biomecanice.

De asemenea, extragerea manuală a unghiurilor în Kinovea presupune o anumită dependență de experiența operatorului. Chiar dacă procedurile de analiză au fost standardizate, există posibilitatea apariției unor mici variații inter-evaluator. În comparație cu platformele complet automatizate, această caracteristică poate reprezenta o sursă suplimentară de variabilitate.

O altă limitare constă în faptul că analiza biomecanică a fost realizată în două dimensiuni (2D). Deși această metodă este adecvată pentru numeroase aplicații practice, sistemele tridimensionale de analiză biomecanică oferă o descriere mai completă a mișcărilor segmentare și pot surprinde aspecte care nu sunt vizibile în plan bidimensional.

În plus, cercetarea s-a concentrat exclusiv asupra unor subiecți sănătoși, fără afecțiuni locomotorii. Prin urmare, rezultatele nu pot fi extrapolate direct către populații clinice sau către persoane cu patologii ale aparatului locomotor, fără studii suplimentare dedicate acestor categorii.

Recomandări practice

Pe baza rezultatelor obținute în cadrul cercetării, pot fi formulate câteva recomandări practice pentru utilizarea instrumentelor digitale în analiza biomecanică.

În primul rând, utilizarea programului Kinovea este recomandată în contexte educaționale, de cercetare aplicată sau în activitatea cluburilor sportive și a cabinetelor de kinetoterapie care nu dispun de laboratoare biomecanice complexe. Software-ul oferă o soluție gratuită și eficientă pentru analiza video a mișcărilor, cu condiția respectării unor proceduri standardizate de filmare și analiză.

În al doilea rând, integrarea limbajului de programare Python în procesul de prelucrare a datelor poate contribui semnificativ la automatizarea analizelor, la reducerea erorilor umane și la creșterea reproductibilității rezultatelor. Utilizarea unor algoritmi simpli de codificare și clasificare a datelor facilitează interpretarea rapidă a rezultatelor și permite gestionarea unor volume mari de informații.

De asemenea, se recomandă standardizarea condițiilor de filmare, inclusiv poziționarea camerei, iluminarea, frecvența de captare și stabilizarea echipamentului, pentru a reduce variabilitatea datelor și pentru a crește precizia măsurărilor.

În practica profesională, metodele prezentate pot fi utilizate pentru monitorizarea evoluției pacienților în kinetoterapie, pentru analiza tehnicii sportive sau pentru evaluarea funcțională a mișcărilor în context educațional.

Perspective de cercetare viitoare

Rezultatele acestei cercetări deschid mai multe direcții posibile pentru dezvoltări viitoare.

O primă direcție ar fi extinderea studiului asupra unor eșantioane mai mari și mai diverse, incluzând diferite categorii de vârstă, sportivi de performanță sau persoane cu afecțiuni ale aparatului locomotor. Astfel de studii ar permite evaluarea aplicabilității metodei în contexte clinice și ar putea contribui la dezvoltarea unor protocoale de evaluare funcțională adaptate diferitelor patologii.

O altă direcție importantă constă în compararea metodelor bazate pe analiza video 2D cu sisteme tridimensionale de analiză biomecanică, pentru a evalua mai precis gradul de concordanță dintre metodele accesibile și cele utilizate în laboratoarele specializate.

De asemenea, o dezvoltare relevantă ar putea fi crearea unor proceduri semi-automate de analiză în Kinovea sau dezvoltarea unor scripturi Python care să reducă timpul necesar extragerii datelor și să minimizeze influența operatorului asupra rezultatelor.

O altă perspectivă interesantă este integrarea tehnologiilor de inteligență artificială în analiza video accesibilă, astfel încât procesul de identificare a reperelor anatomice și de calcul al unghiurilor să devină automatizat și mai precis.

În concluzie, cercetarea realizată evidențiază potențialul considerabil al instrumentelor digitale accesibile în analiza biomecanică și deschide perspective pentru dezvoltarea unor metode moderne, eficiente și democratizate de evaluare a mișcării umane.

Contribuțiile originale ale tezei de doctorat

Prezenta teză de doctorat aduce o serie de contribuții originale în domeniul analizei biomecanice a mișcării umane, prin dezvoltarea și validarea unor metode accesibile de evaluare biomecanică bazate pe instrumente digitale open-source. Contribuțiile se manifestă atât la nivel metodologic, cât și la nivel aplicativ, prin integrarea unor tehnologii digitale moderne în analiza funcțională a mersului și a altor mișcări umane.

O primă contribuție originală constă în elaborarea și validarea unei metodologii integrate de analiză biomecanică bazată pe utilizarea combinată a programului Kinovea și a limbajului de programare Python. Această abordare permite extragerea parametrilor cinematici din înregistrări video și prelucrarea ulterioară a datelor într-un mod standardizat, reproductibil și eficient, oferind o alternativă viabilă la sistemele biomecanice tradiționale, mult mai costisitoare.

O altă contribuție importantă este reprezentată de dezvoltarea unui protocol de procesare și codificare a datelor biomecanice utilizând Python. Prin recalibrarea unghiurilor față de poziția neutră și clasificarea acestora pe intervale de severitate, cercetarea propune o metodă simplificată de interpretare a deviațiilor segmentare. Codificarea numerică și cromatică a valorilor permite o vizualizare intuitivă a rezultatelor și facilitează analiza rapidă a tendințelor biomecanice în funcție de condițiile experimentale.

Teza aduce, de asemenea, o contribuție originală prin realizarea unei analize comparative între o platformă comercială bazată pe inteligență artificială (Ochy) și o metodă alternativă open-source (Kinovea + Python). Rezultatele obținute au demonstrat existența unor corelații foarte puternice și a unei concordanțe excelente între cele două metode, confirmând că instrumentele gratuite pot produce rezultate comparabile cu cele oferite de aplicații comerciale automatizate.

O contribuție relevantă a cercetării constă și în evidențierea rolului pregătirii organismului pentru efort în stabilizarea parametrilor biomecanici ai mersului. Analiza comparativă realizată înainte și după încălzire a arătat că valorile unghiurilor devin mai consistente după pregătirea organismului pentru efort, sugerând o influență pozitivă a acesteia asupra controlului motor și a stabilității segmentare.

Un alt element de noutate al tezei este integrarea competențelor de analiză video, procesare de date și programare în domeniul științei mișcării. Această abordare interdisciplinară propune un model modern de cercetare și formare profesională, în care analiza biomecanică nu depinde exclusiv de laboratoare specializate, ci poate fi realizată și prin utilizarea unor instrumente digitale accesibile.

Din punct de vedere aplicativ, teza oferă un cadru metodologic care poate fi utilizat în kinetoterapie, educație fizică, sport de performanță și cercetare biomecanică aplicată. Metoda propusă permite evaluarea obiectivă a mișcărilor, monitorizarea evoluției funcționale și analiza tehnicii sportive, utilizând echipamente relativ simple și software gratuit.

Prin aceste contribuții, cercetarea susține ideea democratizării accesului la analiza biomecanică și evidențiază potențialul tehnologiilor open-source în dezvoltarea unor metode moderne, eficiente și reproductibile de evaluare a mișcării umane.

Bibliografie selectivă

Ang, C. L., & Kong, P. W. (2023). Field-based biomechanical assessment of the snatch in Olympic weightlifting using wearable in-shoe sensors and videos: A preliminary report. *Sensors*, 23(3), 1171. <https://doi.org/10.3390/s23031171>

Barrett, R. S., Mills, P. M., & Begg, R. K. (2010). A systematic review of the effect of ageing and falls history on minimum foot clearance characteristics during level walking. *Gait & Posture*, 32(4), 429–435. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.07.010>

Donlin, M. C., Pariser, K. M., Downer, K. E., & Higginson, J. S. (2022). Adaptive treadmill walking encourages persistent propulsion. *Gait & Posture*, 97, 246–251. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2022.02.017>

Keijsers, N. L. W., Stolwijk, N. M., Renzenbrink, G. J., & Duysens, J. (2016). Prediction of walking speed using single stance force or pressure measurements in healthy subjects. *Gait & Posture*, 43, 93–95.

Liu, J., Stewart, H., Wiens, C., McNitt-Gray, J., & Liu, B. (2022). Development of an integrated biomechanics informatics system with knowledge discovery and decision support tools for research of injury prevention and performance enhancement. *Computers in Biology and Medicine*, 141, 105062. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2021.105062>

Nor Adnan, N. M., Ab Patar, M. N. A., Lee, H., Yamamoto, S., Jong-Young, L., & Mahmud, J. (2018). Biomechanical analysis using Kinovea for sports application. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 342, 012097. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/342/1/012097>

Paolino, S., & Zampa, F. (2023). Determination of vehicle speed from recorded video using the open-source software Kinovea. *Journal of Forensic Sciences*, 68(2), 667–675. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.15191>

Perry, J., & Burnfield, J. M. (2010). *Gait analysis: Normal and pathological function* (2nd ed.). SLACK Incorporated.

Phinyomark, A., Osis, S. T., Hettinga, B. A., Kobsar, D., & Ferber, R. (2016). Gender differences in gait kinematics for patients with knee osteoarthritis. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 17, 157.

Popa, V., Sandor, I., & Ciocoi-Pop, D. R. (2023). Functional assessment in neuromotor reeducation. *Studia Universitatis Babeş-Bolyai Educatio Artis Gymnasticae*, 67.

Popa, V., Sandor, I., & Ciocoi-Pop, D. R. (2024). Detecting ROM changes using Kinovea after muscle decontracture technique. *Kinetoterapie*.

Requena, B., Requena, F., García, I., de Villarreal, E. S. S., & Pääsuke, M. (2012). Reliability and validity of a wireless microelectromechanicals based system (Keimove™) for measuring vertical jumping performance. *Journal of Sports Science and Medicine*, 11(1), 115–122.

Taborri, J., Palermo, E., Rossi, S., & Cappa, P. (2016). Gait partitioning methods: A systematic review. *Sensors*, 16(1), 66. <https://doi.org/10.3390/s16010066>

Van Hooren, B., Fuller, J. T., Buckley, J. D., Miller, J. R., Sewell, K., Rao, G., & Willy, R. W. (2019). Is motorized treadmill running biomechanically comparable to overground running? *Sports Medicine*, 49(4), 563–578.

Winter, D. A. (2009). *Biomechanics and motor control of human movement* (4th ed.). John Wiley & Sons.

Wren, T. A. L., Gorton, G. E., Õunpuu, S., & Tucker, C. A. (2011). Efficacy of clinical gait analysis: A systematic review. *Gait & Posture*, 34(2), 149–153.

Yang, X., Zhao, G., Liu, D., Zhou, W., & Zhao, H. (2015). Biomechanics analysis of human walking with load carriage. *Technology and Health Care*, 23(S2), S567–S575.