

ȘCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea de Design de Produs și Mediu

Mirela Gabriela APOSTOAIE

CERCETĂRI TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE ASUPRA CONFORTULUI COMPORTAMENTAL

REZUMAT

Conducător științific

Prof.dr.ing. Mihaela Ioana BARITZ

BRAȘOV, 2025

Cuprins	Nr paginii Teză	Nr pagină Rezumat
Listă Figuri	7	-
Listă Tabele	17	-
Listă de Abrevieri.....	18	-
Listă de Notății	20	-
Rezumat.....	21	-
Abstract	22	-
Mulțumiri	23	5
Capitolul 1.....	24	6
1.1.Prezentarea Domeniului tezei de doctorat.....	24	6
1.2. Obiectivele tezei de doctorat.....	24	6
1.3. Conținutul tezei de doctorat.....	25	7
Capitolul 2	26	8
2.1. Introducere	26	8
2.2. Etiopatogenia vederii scăzute/slabe.....	28	9
2.3. Sisteme de investigație și evaluare	37	11
2.3.1. Parametrii funcției vizuale	37	11
2.3.2. Metode și mijloace de evaluare	40	12
2.3.3. Metode si mijloace de examinare	47	12
2.4. Concluzii	50	13
Capitolul 3	51	13
3.1. Hardware și software integrat pentru asistență vizuală.....	51	13
3.1.1. Lupe electronice și video	51	13
3.1.2. Software de mărire a ecranului	52	13
3.1.3. Dispozitive portabile de îmbunătățire a vederii	53	13
3.2. Tehnologii de asistență de zi cu zi pentru vederea scăzută.....	56	14
3.2.1. Tehnologii de asistență digitală și inteligență artificială (AI)	56	14
3.2.2. Tehnologii de asistență tactilă și audio	59	14
3.3. Tehnologii de navigație și mobilitate	61	15
3.3.1. Dispozitive electronice pentru mobilitate.....	61	15
3.3.2. Sisteme de navigație bazate pe GPS	62	15
3.3.3. Bastoane inteligente cu detectarea obstacolelor	63	15
3.3.4. Dispozitive de feedback haptic portabile.....	63	15
3.4. Tehnologii de asistență asigurate de comunitate	64	15
3.4.1. Infrastructură pietonală accesibilă.....	64	15
3.4.2. Semnalizare Braille în clădiri	16	16
3.4.3. Inițiative Smart City și tehnologii de accesibilitate urbană.....	16	16

3.5. Analiza scientometrică a literaturii de specialitate	67	16
3.6. Concluzii	74	17
Capitolul 4	76	17
4.1. Studiul biomecanicii membrului inferior în locomoție	77	18
4.1.1. Baza de susținere	77	18
4.1.2. Poligonul de susținere.....	77	18
4.1.3. Forța de împingere:	79	18
4.1.4. Presiunea plantară:.....	79	18
4.1.5. Traectoria	79	19
4.1.6. Viteza și viteza liniară.....	79	19
4.1.7. Accelerația.....	80	19
4.1.8. Concluzii	80	19
4.2. Modele de studiu ale ciclului de mers.....	81	19
4.2.1. Modelul pendulului direct.....	191	19
4.2.2. Modelul pendulului inversat al lui Gard	82	19
4.2.3. Modelul Denavit Hartenberg	195	19
4.3. Analiza cinematica si dinamica a locomoției.....	197	19
4.3.1. Introducere	197	19
4.3.2. Mecanica Mișcărilor Piciorului.....	197	20
4.3.3. Cinematica Mișcărilor Piciorului	88	20
4.4. Abateri ale ciclului de mers	89	20
4.5. Confortul în mers.....	92	20
4.5.1. Biomecanica mersului	92	20
4.5.2. Factorii de mediu și ergonomie	92	20
4.5.3. Percepție senzorială	93	21
4.6. Metode de măsurare și simulări ale ciclului de mers	93	21
4.6.1. Metode de măsurare și evaluare	95	21
4.6.2. Metode de simulare.....	99	22
4.7. Contribuții la modelarea și simularea ciclului de mers în raport cu funcția vizuală	101	23
4.7.1. Mediul de programare Labview	101	23
4.7.2. Definirea parametrilor.....	101	23
4.7.3. Analiza abaterilor traiectoriei și presiunii plantare.....	108	25
4.8. Concluzii.....	116	27
Capitolul 5	117	27
5.1. Conceperea sistemului experimental.....	27	27
5.2. Construcția sistemului experimental.....	119	28
5.3. Proiectarea procedurii de utilizare	123	28

5.4. Modalitate de stocare și întreținere	124	29
5.5. Concluzii	124	29
Capitolul 6.....	126	29
6.1. Sistem tip Baston	126	29
6.2. Sistem tip Manșetă.....	127	29
6.3. Sistem Tridirecțional	129	29
6.4. Comparatie.....	1308	30
6.5. Concluzii	131	30
Capitolul 7.....	133	30
7.1 Testare preliminară: evaluarea individuală a deficiențelor vizuale	134	31
7.1.1 Deficiențe vizuale simulate și configurarea testării.....	134	31
7.1.2 Colectarea și interpretarea datelor	135	31
7.1.3. Rezultate preliminare.....	135	31
7.1.4. Concluzii din testarea preliminară	141	32
7.2. Testarea experimentală: evaluarea comportamentului biomecanic pe durata ciclului de mers utilizând dispozitive de ajutor vizual pe eșantion de subiecți	142	33
7.2.1. Metodologie experimentală	142	32
7.2.2. Alegerea eșantionului și instruirea participantilor	146	34
7.2.3. Măsurători în cadrul metodologiei experimentale.....	155	36
7.2.4. Rezultate și discuții.....	161	37
7.2.5. Concluzii.....	210	47
Capitolul 8.....	218	50
8.1.Concluzii finale.....	218	50
8.2. Contribuții personale	219	51
8.3. Direcții viitoare de cercetare.....	221	52
Bibliografie	223	53
Anexe	239	-
Lista publicațiilor.....	320	55

Mulțumiri

Doresc să adresez mulțumiri profunde și sincere tuturor celor care au contribuit, direct sau indirect, la realizarea acestei lucrări de doctorat.

În primul rând, mulțumesc comisiei de recenzori (ale cărei membri îi voi menționa nominal la momentul susținerii) pentru timpul acordat evaluării acestei lucrări, pentru observațiile constructive și pentru răbdarea și înțelegerea oferite.

Îmi exprim recunoștința față de Școala Doctorală a Universității Transilvania din Brașov pentru oportunitatea de a face parte dintr-o comunitate academică valoroasă și pentru susținerea oferită pe parcursul întregii perioade de stagiul doctoral.

Mulțumesc Conducerii Facultății de Design de Prods și Mediu pentru oportunitatea de a desfășura activități și de a colabora pe toata durata pregătirii mele.

Alături de conducerea facultății, mulțumesc în mod deosebit doamnei director a departamentului Design de Prods, Mecatronică și Mediu pentru sprijinul instituțional și cadrul propice desfășurării activității mele de formare ca cercetător.

Adresez mulțumiri deosebite doamnei Prof. dr. ing. Mihaela Ioana Baritz, conducătorul științific al tezei, pentru îndrumarea competentă, profesionalismul, răbdarea și încrederea acordată în toți acești ani. Sub coordonarea domniei sale am beneficiat de o orientare clară în cercetare, o exigență constructivă și o susținere constantă, esențiale pentru finalizarea acestui parcurs academic.

Adresez mulțumiri speciale comisiei de îndrumare și integritate academică, formată din doamna Prof. dr. ing. Luciana Cristea, domnul Prof. dr. ing. Sorin Vlase, doamna Prof. dr. ing. Ileana Constanța Roșca de la Universitatea Transilvania din Brașov și doamna Prof. dr. ing. Anca Drăghici de la Universitatea Politehnica Timișoara, pentru sprijinul valoros și încurajările oferite pe parcursul cercetării mele.

Mulțumirile mele se îndreaptă spre cadrele didactice din departamentul Design de Prods, Mecatronică și Mediu, care cu răbdare și încredere m-au susținut în activitatea mea de cercetare, dar și didactică.

Mulțumiri deosebite aduc pe această cale doamnei Prof. dr. ing. dr. marketing Angela Repanovici, pentru generozitatea, sfaturile și deschiderea arătate; domnului Șef lucrări dr. ing. Barbu Braun, pentru îndrumările clare și sprijinul permanent; doamnei Prof. dr. ing. Daniela Barbu, pentru contribuțiile valoroase și susținerea academică și nu în ultimul rând domnul Șef lucrări dr. ing. Corneliu Drugă, pentru sprijinul tehnic și îndrumările practice oferite în momente esențiale ale cercetării.

Un gând aparte de mulțumire se îndreaptă către colegii doctoranzi și doctorii din cadrul Școlii Doctorale a Universității Transilvania, alături de care am parcurs acest drum complex în formarea mea ca cercetător. Împreună am împărtășit nu doar etapele formale – cursuri, examene, pre-susțineri – ci și momente de înțelegere, de motivație, de susținere reciprocă și încurajare sinceră.

La final – dar cu cea mai adâncă recunoștință – adresez cele mai calde și sincere mulțumiri familiei mele și prietenilor apropiați. Voi ați fost ancora mea în momentele de înțelegere, motivația în perioadele de oboseală și bucuria în puținele clipe de răgaz. Vă mulțumesc pentru înțelegerea fără margini, pentru susținerea necondiționată, pentru răbdarea de a-mi fi alături chiar și când am fost prea absorbită de muncă pentru a spune „mulțumesc”. Fără încurajările voastre, fără credința voastră în mine, fără empatia și sprijinul vostru emoțional, acest drum nu ar fi fost posibil. Această lucrare vă aparține și vouă, în egală măsură

Capitolul 1 - Introducere

1.1. Prezentarea Domeniului tezei de doctorat

Prezenta teză se încadrează în domeniul multidisciplinar îmbinând mecanica cu evaluarea biomecanică a mersului în condiții de deficiență vizuală, având ca scop îmbunătățirea mobilității persoanelor cu vedere scăzută prin soluții tehnologice de asistență vizuală. Cercetarea combină analiza cinematică și cinetică a mersului cu utilizarea senzorilor de proximitate și a sistemelor de feedback auditiv, concentrându-se pe adaptarea comportamentului locomotor în absența informației vizuale.

Pornind de la dificultățile legate de percepția spațială și anticiparea obstacolelor, teza propune dezvoltarea și testarea unui dispozitiv electronic portabil, capabil să ofere utilizatorului feedback în timp real privind mediul înconjurător. Componenta practică include simularea a două tipuri de deficiențe vizuale (glaucom și cataractă) și testarea comparativă a patru sisteme de asistență: trei existente și unul original – un dispozitiv Sonar purtat pe piept, cu detecție frontală dinamică și semnal sonor diferențiat.

Testările s-au realizat în condiții de laborator controlate, cu ajutorul sistemului RS Scan Footscan Gait, pe un eșantion de subiecți sănătoși. Rezultatele contribuie la optimizarea tehnologiilor portabile destinate îmbunătățirii confortului și siguranței în mers pentru persoanele cu deficiențe vizuale.

1.2. Obiectivele tezei de doctorat

01. Dezvoltarea și încadrarea temei de cercetare în domeniul ingineriei interdisciplinare

01.1. Identificarea importanței biomecanicii în dezvoltarea și implementarea cercetărilor pentru creșterea calității vieții

01.2. Analiza aspectelor interdisciplinare din domeniul cercetărilor teoretice și experimentale privind implementarea componentelor integrate

01.3. Analiza critică a cercetărilor asupra aspectelor legate de utilitatea și necesitatea dezvoltării tehnologiilor asistive

02. Analiza implicațiilor disfuncțiilor vizuale asupra nivelului de comportament biomecanic

02.1. Dezvoltarea de metodologii pentru identificarea componentelor disfuncțiilor vizuale ce afectează calitatea vieții

02.2. Evaluare teoretică a parametrilor biomecanici ai ciclului de mers

02.3. Stabilirea și identificarea abaterilor parametrilor ciclurilor de mers sub influența disfuncțiilor vizuale de vedere scăzută

03. Ierarhizarea dispozitivelor de ajutor vizual pentru îmbunătățirea biomecanicii comportamentale și obținerea nivelului de confort

03.1. Analiza critică a dispozitivelor de ajutor vizual pentru asigurarea mobilității

04. Modelarea și simularea mobilității în raport cu disfuncțiile vizuale

04.1 Modelarea ciclului de mers în mediul de programare LabView

04.2. Analiza simulărilor efectului disfuncțiilor vizuale asupra ciclului de mers în mediul de programare LabView

05. Conceperea, proiectarea, realizarea și utilizarea dispozitivului de tip Sonar

O5.1. Conceperea, proiectarea dispozitivului de tip Sonar

O5.2. Realizarea tehnologică și verificarea dispozitivului

O5.3. Studiu comparativ al dispozitivului de tip Sonar în raport cu alte dispozitive de ajutor vizual

O5.4 Evaluarea rezultatelor experimentale pentru stabilirea gradului de confort comportamental

O6. Evaluare integrată simulare/experiment pentru evidențierea modului de manifestare și efectele disfuncțiilor vizuale asupra confortului comportamental

1.3. Conținutul tezei de doctorat

Capitolul 1 - Introducere - fundamentează domeniul multidisciplinar al cercetării formulând obiectivele generale și specifice ale tezei în raport cu necesitatea dezvoltării unor soluții tehnologice de asistență vizuală pentru optimizarea mobilității și confortului comportamental.

Capitolul 2 - Unele considerații privind starea de vedere slabă în epoca modernă - analizează evoluția conceptuală, terminologică și etiologică a vederii slabe, subliniind tranziția acesteia către o preocupare majoră în domeniul sănătății publice și evidențiind progresele tehnologice.

Capitolul 3 - Analiza mijloacelor hardware și software de integrare a pacienților cu vedere slabă - analizează critic soluțiile tehnologice existente, de tip hardware și software, destinate sprijinirii persoanelor cu vedere slabă, evidențiind impactul acestora asupra accesibilității, autonomiei și integrării sociale în contextul digital actual.

Capitolul 4 – Fundamentare Teoretică - oferă o fundamentare conceptuală privind principiile și modelele care susțin funcționarea tehnologiilor de asistență vizuală, axându-se pe mecanismele de compensare senzorială, feedback adaptiv și interacțiunea om–tehnologie în deficiența vizuală.

Capitolul 5 – Proiectarea sistemului experimental - prezintă procesul de proiectare, realizare și testare a unui sistem experimental de tip sonar destinat persoanelor cu deficiențe de vedere, concentrându-se pe dezvoltarea unei soluții portabile, accesibile și ergonomice, care oferă detecție eficientă a obstacolelor prin feedback auditiv adaptiv, cu scopul de a îmbunătăți confortul comportamental și siguranța în mers.

Capitolul 6 – Comparația și integrarea sistemului Sonar cu structuri de ajutor vizual - realizează o analiză comparativă între sistemul Sonar dezvoltat în cadrul cercetării și alte trei dispozitive de asistență vizuală existente, evaluând performanțele acestora pe baza unor criterii obiective și subiective, în scopul integrării funcționale și comportamentale a soluțiilor de mobilitate destinate persoanelor cu deficiențe de vedere.

Capitolul 7 – Protocol de testare și procedură experimentală - analizează comparativ sistemul Sonar propus în această cercetare în raport cu alte trei dispozitive de asistență vizuală existente, evidențiind punctele forte și limitările fiecărui sistem pe baza unor criterii tehnice și perceptuale, în vederea identificării soluției optime pentru susținerea mobilității și confortului comportamental al persoanelor cu deficiențe de vedere.

Capitolul 8 - Concluzii finale. Contribuții personale. Direcții viitoare de cercetare

Capitolul 2- Unele considerații privind starea de vedere slabă în epoca modernă

2.1. Introducere

2.1.1. Aspecte istorice

Prima însemnare a existenței aspectelor legate de ajutorul vizual este din anul 1270 când Marco Polo a fost în China și a descoperit că persoanele vârstnice foloseau diferite lentile pentru a citi sau pentru a vedea mai clar obiectele mici. Primul dispozitiv de ajutor vizual pentru persoanele cu deficiențe de vedere este atribuit lui Rene Descartes, în anul 1637. Chiar dacă în anii ce au urmat au fost efectuate numeroase studii și descoperiri acestea au fost axate pe înțelegerea procesului de orbire totală sau pe corectarea vederii cu ochelari. În același context prima școală ce vine în sprijinul celor cu vedere slabă a fost înființată doar în anul 1908 în Londra. [1]

Dezvoltarea sistemelor de asistență pentru persoanele cu vedere scăzută (low vision) sau orbire (cecitate) are o istorie bogată, marcată de inovații semnificative care le-au sporit accesibilitatea și independența acestora.

În 1808 italianul Pellegrino Turri a inventat prima mașină de scris, pe care a construit-o pentru a-și ajuta prietena oarbă să scrie. Această invenție i-a permis acesteia să comunice mai eficient, reprezentând astfel un exemplu timpuriu de tehnologie asistivă concepută pentru a ajuta persoanele cu deficiențe de vedere.[2]

În 1824 invenția alfabetului Braille revoluționează lumea nevăzătorilor.

În anii '80 s-au dezvoltat cititoare vocale de ecran și aplicații software de mărire a textului, permițând utilizatorilor nevăzători și cu vedere redusă să acceseze interfețele computerelor.

Începutul anilor 2000 a adus progrese semnificative în tehnologiile digitale de asistență, inclusiv dezvoltarea de software de mărire a informației de pe ecran, cum ar fi ZoomText și cititoare de ecran precum JAWS (Job Access With Speech). [8]

Începând cu 2010 societatea informațională este martoră la apariția ochelarilor inteligenți și a instrumentelor bazate pe inteligența artificială, toate concepute pentru a ajuta persoanele cu deficiențe de vedere.

2.1.2. Terminologie

Încă de la apariția termenilor legați de cecitate și de vedere scăzută, criteriile folosite pentru a le defini sunt variabile de la zonă la zonă, de la țară la țară, de la studiu la studiu.

Spre exemplu în Statele Unite ale Americii, definiția standard a orbirii legale este stabilită de o acuitate vizuală de 20/200 sau mai rea pentru ochiul cel mai bun sau care are un câmp vizual de 20° sau mai puțin. [11]

Consiliul European de Optometrie și Optică (ECOO) oferă următoarea definiție referitoare la acest aspect: "Vederea scăzută descrie o deficiență de vedere care restricționează capacitatea de a îndeplini sarcini vizuale în viața de zi cu zi. Acest handicap nu poate fi corectat prin ochelari obișnuiți, lentile de contact sau intervenție medicală. Tipuri evidente de deficiențe vizuale sunt pierderea acuității vizuale și pierderea câmpului vizual. Alte exemple includ pierderea sensibilității la contrast, anomalii ale vederii culorilor și ale vederii pe timp de noapte, precum și o sensibilitate crescută la lumină." [12] Termenul „deficiență de vedere” a fost folosit pentru a descrie un spectru mai larg de pierdere a vederii. În ultimii ani unii specialiști

au propus utilizarea de termeni descriptivi mai generali care se referă la „pierderea vederii” și respectiv „probleme asociate cu vederea”. [13]

În 2002, Consiliul Internațional de Oftalmologie (ICO) a adoptat o rezoluție în care a fost recomandată următoarea terminologie:

Orbire – denumire a fi utilizată numai pentru pierderea totală a vederii și pentru condițiile în care persoanele trebuie să se bazeze în principal pe abilitățile de substituție a vederii prin utilizarea celorlalte sisteme fiziologice senzoriale.

Vedere scăzută – termen pentru a fi utilizat la grade mai mici de diminuare a funcției vizuale, caz în care persoanele pot fi ajutate în mod semnificativ de sisteme și dispozitive de îmbunătățire a vederii.

Deficiență vizuală – termen pentru a fi utilizat atunci când starea de pierdere a vederii este caracterizată printr-o pierdere a caracteristicilor funcției vizuale (cum ar fi acuitatea vizuală și câmpul vizual) la nivel de organ.

Termenul de Low Vision (LV) este preluat în limbajul actual de specialitate din literatura internațională din domeniu, fiind tradus prin vedere scăzută sau vedere slabă sau vedere parțială.

2.1.3. Orientare internațională

Organizația Mondială a Sănătății organizează periodic *Conferința Internațională de Consens Privind Standardele de Reabilitare a Vederii* unde se stabilesc atât standarde de dezvoltare cât și obiective pentru reabilitarea funcției vizuale și de incluziune socială. Obiectivele de reabilitare includ: a) prevenirea pierderii funcției vederii; b) încetinirea ratei de pierdere a funcției vizuale; c) îmbunătățirea sau restabilirea funcției vizuale; d) compensare pentru pierderea funcției vederii; (e) menținerea funcției curente la nivelul sistemului vizual. [15]

2.2. Etiopatogenia vederii scăzute/slabe

Toate definițiile vederii scăzute țin cont de o caracteristică principală a sistemului vizual numită Acuitate Vizuală (AV).

Conform Aj Jackson și colaboratorilor săi [17] „acuitate vizuală” este aproape sinonim cu evaluarea stării vizuale centrale, dar folosind optotipi este totuși mai specific și se referă la capacitatea sistemului vizual de a rezolva detaliile spațiale. Acuitatea vizuală este o măsură a dimensiunii unghiulare a detaliului care poate fi rezolvată vizual doar de observator, iar limitările sale sunt impuse de o combinație de factori optici și neuronali. [17]

Cauze patologice ale vederii scăzute

În urma unui studiu Gudlavalleti Murthy și colegii săi [18] au clasificat cauzele patologice ale vederii scăzute / orbirii după preponderența apariției, principala patologie fiind cataracta, urmată de degenerescența maculară, opacifierea capsulei posterioare, glob absent / dezorganizat, opacitatea / cicatricea corneei, glaucom, alte tulburări ale retinei, alte atrofii optice, viciu de refracție (miopii forte, hipermetropii mari), dezlipire de retină, retinopatie diabetică, ambliopia, strabismul. [18]

A. Cataracta

Cataracta apare la nivelul lentilei ochiului (cristalinului) manifestându-se printr-o tulburare de transparență sau chiar opacifiere care împiedică lumina să ajungă la nivelul retinei. Aceasta duce la încheșurarea vederii, scăderea acuității vizuale, a contrastului și fără intervenție chirurgicală poate duce la orbire. [19]

B. Degenerescenta maculară

Degenerescenta maculară legată de vârstă (DMVL) este o altă cauză majoră a orbirii la vârstnici, fiind mai răspândită la persoanele cu vârsta de peste 65 de ani. Orbirea cauzată de DMLV este de obicei ireversibilă.

C. Glaucom

Glaucomul este a doua cauză de orbire ireversibilă în întreaga lume [37] și este caracterizat ca un grup de afecțiuni ale ochiului care au ca principală consecință afectarea nervului optic.[38] Cele mai multe forme, (glaucom cu unghi închis sau glaucom cu unghi deschis) includ o presiune intraoculară prea mare pentru menținerea sănătății ochiului fapt pentru care apare atrofia capului nervului optic și pierderea câmpului vizual.

D. Dezlipirea de retină

Dezlipirea de retină apare atunci când în straturile retinei se infiltrează umoare vitrească și desparte cele 2 straturi (stratul receptorilor de lumină (fotoreceptorii) și stratul de celule pigmentare numit pigmentul epiteliului retinian (RPE)).

E. Retinopatie

Retinopatie este un termen folosit pentru a descrie diverse tulburări neinflamatorii ale retinei care pot provoca vedere scăzută. [50] Cele mai frecvente forme de retinopatie sunt cea diabetică, de prematuritate și hipertensivă. [51]

Miopia

Organizația Mondială a Sănătății a definit în anul 2015 miopia care afectează calitatea vederii la distanță ca: "o afecțiune în care viciu de refracție are echivalența sferică de minim $-0,50$ dioptrie sferică în fiecare ochi", iar miopia forte ca: "o condiție în care viciu de refracție are echivalentă sferică de peste $-5,00$ dioptrie sferică în fiecare ochi". [57]

Hipermetropie

Asociația americană de optometrie împarte hipermetropia în 3 categorii:

- a) scăzută - care constă într-un viciu de refracție de până la $+2,00$ dioptrii sferice;
- b) moderată cu un interval de la $+2,25$ până la $+5,00$ dioptrii sferice;
- c) mare - viciu de refracție măsurat obiectiv peste $+5,00$ dioptrii sferice. [60]

Astigmatism

Astigmatismul este un viciu de refracție (ametropie) care apare atunci când razele paralele de lumină care intră prin meridiane diferite în ochiul neacomodat nu sunt focalizate corect pe retină. Atunci când razele de lumină incidente nu converg la un singur punct focal apare astigmatismul. [62]

F. Strabismul

Strabismul este o afecțiune în care axele vizuale ale celor doi ochi sunt nealiniat. Una sau ambele axe ale ochilor deviază, fie constant, fie intermitent, de la axa optică spre interior (eso-tropie/forie), spre exterior (exo-tropie/forie), în sus (hiper-tropie/forie) sau în jos (hipo-tropie/forie). Strabismul este una dintre cele mai frecvente afecțiuni oculare diagnosticate la copii. [65]

G. Ambliopia

Ambliopia este o afecțiune de obicei unilaterală, rareori bilaterală în care acuitatea vizuală corectată este mai slabă de 20/20 (vederea normală potrivit OMS) , în absența oricărei anomalii structurale.

Ambliopia este cauza principală a pierderii vederii monoculare în copilărie, cu o prevalență estimată de 1% până la 6% și este responsabilă de pierderea permanentă a vederii la 2,9% dintre adulți [69]. Copii sunt predispuși la ambliopie de la naștere până la vârsta de 7 ani. [70]

2.3. Sisteme de investigație și evaluare

2.3.1. Parametrii funcției vizuale

Acuitatea vizuală (AV) se referă la claritatea vederii, reprezentând capacitatea ochiului de a observa detaliile fine. Această calitate este de obicei evaluată folosind diagrame (scări, optotipi) standardizate, cum ar fi diagrama Snellen, unde subiecții identifică litere sau simboluri la o distanță specificată, standardizată. Termenul „acuitate vizuală” în sine datează din 1861 când Dr. Franciscus Donders, care l-a definit ca „raportul dintre performanța unui subiect și o performanță standard” în a distinge detaliile unui model de testare. [71]

Organizația Mondială a Sănătății (WHO/OMS) folosește următoarea clasificare în raport cu acuitatea vizuală a deficiențelor de vedere. Când vederea în ochiul mai bun, cu cea mai bună corecție posibilă pentru ochelari este:

- AV de 20/20 este vederea considerată normală.
- AV de 20/30 până la 20/60, aceasta este considerată pierdere ușoară a vederii sau vedere aproape normală.
- AV de 20/500 până la 20/1000, aceasta este considerată deficiență vizuală profundă sau vedere scăzută profundă.
- Mai puțin AV de 20/1000, aceasta este considerată deficiență vizuală aproape totală sau vedere scăzută aproape totală.
- Fără percepție a luminii, aceasta este considerată deficiență vizuală totală sau orbire totală. [14]

Sensibilitatea la contrast măsoară capacitatea de a distinge obiectele de fundal pe baza diferențelor de luminanță.

Câmpul vizual se referă la zona vizibilă în timpul fixării stabile a ochilor, specificată în grade de unghi vizual.

Vederea cromatică - Evaluarea vederii culorilor măsoară capacitatea de a percepe și de a diferenția culorile.

Percepția adâncimii și stereopsis - Percepția adâncimii se referă la capacitatea de a percepe distanța relativă a obiectelor în trei dimensiuni.

Stereopsis (atunci când creierul percepe profunzimea interpretând intrarea vizuală a ambilor ochi) este determinată numai de cei doi ochi care lucrează împreună pentru a dezvolta o imagine tridimensională.

Adaptare la lumină și la întuneric - Una dintre cele mai importante sarcini pe care le îndeplinește retina este adaptarea la lumină și întuneric.

Percepția mișcării - Percepția mișcării se referă la capacitatea sistemului vizual de a detecta și interpreta mișcarea în câmpul vizual

Motilitatea și alinierea oculară - Motilitatea oculară se referă la capacitatea ochiului de a mișca și urmări obiectele, în timp ce alinierea oculară se referă la poziționarea coordonată a ambilor ochi pentru a se asigura că țintele vizuale sunt proiectate pe zonele retiniene corespunzătoare.

2.3.2. Metode și mijloace de evaluare

Observarea directă

Observația directă este un factor foarte important în evaluările vizuale, oferind examinatorilor informații neprețuite asupra funcției vizuale și a sănătății oculare a pacientului. Acest proces este de obicei împărțit în două etape critice: Observații generale înainte de testarea formală și Observații în timpul testării.

A. Observații generale înainte de testarea formală

Înainte de a iniția evaluări vizuale formale, examinatorii se angajează în observații generale pentru a colecta informații preliminare despre comportamentul vizual și starea oculară a pacientului. Aceste observații sunt esențiale în modelarea procesului de examinare ulterior.

B. Observații în timpul testării

În timpul evaluărilor vizuale, se fac observații direcționate pentru a evalua aspecte specifice ale funcției vizuale și sănătății oculare. Aceste observații completează măsurătorile obiective și sunt cruciale pentru diagnosticarea și managementul precis.

Anamneza

O anamneză servește ca punct de plecare a evaluărilor vizuale eficiente, oferind perspective critice care ghidează procesele de diagnostic și evaluare. Prin colectarea sistematică a informațiilor detaliate despre sănătatea oculară și generală a subiectului, examinatorii identifică factorii de risc, recunosc semnele precoce ale patologiei și adaptează intervențiile în mod corespunzător.

Evaluare calității vederii

Evaluarea acuității vizuale este o componentă fundamentală a examinărilor oculare cuprinzătoare, evaluând claritatea sau calitatea vederii la diferite distanțe.

Campimetrie – Perimetrie

Evaluarea câmpului vizual este o componentă fundamentală a examinărilor oculare complete, evaluând întreaga amplitudine a vederii periferice (laterale) a pacientului.

Evaluarea mișcărilor oculare

Evaluarea mișcărilor oculare este o componentă fundamentală a evaluărilor vizuale, deoarece oferă informații cruciale despre controlul motor ocular, coordonare și funcția neurologică.

Evaluarea sensibilității la contrast

Modul obișnuit de a evalua sensibilitatea la contrast este utilizarea unei diagrame de sensibilitate la contrast Pelli-Robson.

Evaluare vederii cromatice

Au fost dezvoltate diferite metode de evaluare pentru a examina abilitățile de discriminare a culorilor, fiecare cu aplicații, avantaje și limitări specifice.

2.3.3. Metode și mijloace de examinare

Autorefractometrul

Un auto-refractometru este un instrument care ajută la evaluarea automată a refracției. Aceasta este o metodă alternativă de a afla eroarea de refracție, spre deosebire de tehnica convențională de refracție.

Biomicroscop/lampa cu fantă este un instrument esențial în oftalmologie și optometrie, oferind o vedere detaliată și mărită a structurilor ochiului. Combină o sursă de lumină de mare intensitate cu un microscop

binocular, permițând evaluatorilor să examineze cu precizie atât segmentele anterioare, cât și cele posterioare ale ochiului.

Retinoscop/skiascop + Rigla de lentile funcționează pe principiul detectării mișcării unui fascicul de lumină reflectat de retina pacientului. Analizând direcția și viteza luminii reflectate, examinatorul poate determina eroarea de refracție, cum ar fi miopia, hipermetropia sau astigmatismul.

Tonometru este un dispozitiv folosit pentru a măsura presiunea intraoculară. Presiunea intraoculară crescută este un factor de risc semnificativ pentru glaucom, un grup de boli oculare care pot duce la pierderea vederii și la orbire.

Campimetru este un instrument oftalmic conceput pentru a evalua câmpul vizual central, în special în cele 30 de grade centrale ale vederii. Acest instrument este esențial în detectarea și cuantificarea defectelor câmpului vizual, cum ar fi scotoamele - zone de pierdere parțială sau completă a vederii înconjurată de un câmp de vedere normal.[95]

2.4. Concluzii

În concluzie, acest capitol oferă o imagine amplă asupra vederii slabe, abordând aspecte precum evoluția istorică, terminologia specifică, perspectivele internaționale și cauzele patologice. Este evidențiată importanța acestor afecțiuni în societatea contemporană, accentuând influența lor asupra activităților cotidiene, sănătății mintale și procesului de integrare socială.

Capitolul 3

Analiza mijloacelor hardware și software de integrare a pacienților cu vedere slabă. Vederea scăzută are un impact semnificativ asupra capacității unei persoane de a îndeplini sarcinile zilnice, de a naviga în mediul său și de a-și menține independența, transformând orice subiect uman examinat în pacient. Spre deosebire de orbirea totală, persoanele cu vedere scăzută păstrează un anumit grad de vedere, dar este adesea insuficientă pentru a citi, a recunoaște fețele sau a se angaja în activități care necesită detalii vizuale fine.

3.1. Hardware și software integrat pentru asistență vizuală

3.1.1. Lupe electronice și video

Lupe optice - Acestea includ lupe portabile, suport și electronice care măresc textul și imaginile, facilitând citirea și munca detaliată. Lupele electronice vin adesea cu niveluri de mărire reglabile și setări de contrast pentru a se potrivi nevoilor individuale.

3.1.2. Software de mărire a ecranului

Software-ul de mărire a ecranului este o tehnologie de asistență vizuală pentru persoanele cu vedere scăzută, îmbunătățind capacitatea acestora de a interacționa cu conținutul digital prin mărirea și îmbunătățirea elementelor de pe ecran.

3.1.3. Dispozitive portabile de îmbunătățire a vederii

Lentilele telescopice și ochelarii bioptici sunt dispozitive optice specializate concepute pentru a îmbunătăți vederea la distanță pentru persoanele cu vedere scăzută.

3.2. Tehnologii de asistență de zi cu zi pentru vederea scăzută

3.2.1. Tehnologii de asistență digitală și inteligență artificială (AI)

Cititoare de ecran

Cititoarele de ecran sunt instrumente de asistență esențiale care permit persoanelor cu deficiențe de vedere să acceseze conținut digital prin vorbire sintetizată sau ieșire braille. Aceste aplicații software convertesc textul de pe ecran, meniurile și conținutul web într-un format accesibil pe care utilizatorii îl pot naviga folosind comenzile rapide de la tastatură sau gesturile de atingere pe dispozitivele mobile.

Afișaje Braille schimbabile

Un afișaj Braille reîmprospătabil este un dispozitiv tactil care permite persoanelor cu deficiențe de vedere să citească conținut digital prin conversia textului în caractere Braille în relief. Aceste dispozitive funcționează împreună cu cititoare de ecran, permițând utilizatorilor să acceseze textul prin atingere, mai degrabă decât prin audio.

Sisteme de recunoaștere optică a caracterelor (OCR)

Sistemele de recunoaștere optică a caracterelor (OCR) convertesc textul tipărit într-un format digital care poate fi citit cu voce tare de cititoarele de ecran sau afișat pe dispozitive Braille. Această tehnologie permite persoanelor cu deficiențe de vedere să acceseze cărți, scrisori, meniuri de restaurante și alte materiale tipărite fără asistență.

Asistenți activați prin voce

Asistenții activați prin voce, cum ar fi Amazon Alexa, Google Assistant și Apple Siri, au revoluționat accesibilitatea pentru persoanele cu deficiențe de vedere. Aceste instrumente bazate pe inteligență artificială permit utilizatorilor să efectueze diverse sarcini fără mâini, folosind comenzi vocale, eliminând necesitatea interacțiunii vizuale cu ecranele.

Playere de cărți audio digitale

Playerele de cărți audio digitale oferă acces la cărți, ziare și reviste în format audio, permițând persoanelor cu deficiențe de vedere să se bucure de "citit" în mod independent.

Ochelari inteligenți activați prin voce

Ochelarii inteligenți activați prin voce integrează inteligența artificială și comenzile vocale pentru a ajuta utilizatorii cu deficiențe de vedere să interacționeze cu mediul lor. Aceste dispozitive pot citi text, recunoaște obiecte, pot identifica fețele și pot oferi descrieri în timp real ale împrejurimilor, sporind independența.

3.2.2. Tehnologii de asistență tactilă și audio

Agende Braille

Agendele Braille sunt dispozitive portabile concepute pentru a ajuta persoanele care citesc și scriu în Braille. Spre deosebire de dispozitivele electronice standard, aceste dispozitive de luat notițe dispun de tastaturi Braille și afișaje Braille reîmprospătabile, permițând utilizatorilor să scrie, să navigheze pe internet și să acceseze documente digitale.

Ceasuri cu funcție vocală și tactile

Cunoașterea trecerii timpului este o parte esențială a vieții de zi cu zi, iar pentru persoanele cu deficiențe de vedere, ceasurile care vorbesc oferă anunțuri auditive pentru a le ajuta să respecte programul fără a fi

nevoie să vadă un afișaj. Aceste dispozitive vin în diferite formate, inclusiv ceasuri de mână, ceasuri de noptieră și aplicații integrate în smartphone-uri, asigurând flexibilitate în diferite setări.

Termostate tactile și vorbitoare

Termostatele tactile și vorbitoare îmbunătățesc accesibilitatea persoanelor cu deficiențe de vedere, oferind feedback audio și comenzi tactile pentru reglarea temperaturilor interioare.

3.3. Tehnologii de navigație și mobilitate

3.3.1. Dispozitive electronice pentru mobilitate

Ajutoarele electronice de mobilitate folosesc senzori, camere și tehnologia GPS pentru a ajuta persoanele nevăzătoare să navigheze în siguranță în mediul lor. Aceste dispozitive sunt adesea concepute ca instrumente portabile sau accesorii purtabile care oferă feedback audio sau haptic.

Ajutoarele electronice moderne de mobilitate încorporează inteligența artificială și învățarea automată pentru a îmbunătăți recunoașterea obstacolelor și optimizarea rutei, reducând sarcina cognitivă a utilizatorilor.

3.3.2. Sisteme de navigație bazate pe GPS

Sistemele de navigație bazate pe GPS concepute special pentru utilizatorii cu deficiențe de vedere oferă indicații pas cu pas cu feedback audio. Spre deosebire de aplicațiile GPS tradiționale, aceste soluții încorporează ghidare detaliată pentru pietoni, ajutând utilizatorii să navigheze în siguranță pe străzi, intersecții și sisteme de transport public.

3.3.3. Bastoane inteligente cu detectarea obstacolelor

Bastoanele inteligente integrează senzori cu ultrasunete, navigație GPS și mecanisme de feedback alimentate de inteligență artificială pentru a îmbunătăți mobilitatea utilizatorului. [139] Aceste inovații oferă utilizatorilor ghidare în timp real și detectarea obstacolelor, făcând mobilitatea independentă mai sigură și mai eficientă. [140]

3.3.4. Dispozitive de feedback haptic purtabile

Tehnologia de asistență purtabilă integrează feedback haptic, AI și instrumente de conștientizare spațială în îmbrăcăminte și accesorii pentru a sprijini persoanele cu deficiențe de vedere în mobilitate. Aceste dispozitive funcționează ca ghiduri inteligente, alertând utilizatorii despre obstacole și oferind asistență direcțională.

3.4. Tehnologii de asistență asigurate de comunitate

Guvernele din întreaga lume joacă un rol crucial în asigurarea accesibilității persoanelor cu deficiențe de vedere prin implementarea de politici și proiecte de infrastructură menite să sporească mobilitatea, independența și siguranța. De la modificări ale infrastructurii pietonale la inovații ale orașelor inteligente, aceste eforturi au ca scop crearea unor medii incluzive în care persoanele cu deficiențe de vedere pot naviga cu ușurință în spațiile publice.

3.4.1. Infrastructură pietonală accesibilă

Unul dintre cele mai critice aspecte ale inițiativelor de accesibilitate conduse de guvern este dezvoltarea unei infrastructuri prietenoase pentru pietoni. Pavajul tactil, cunoscut și sub denumirea de suprafețe de avertizare detectabile, este implementat pe scară largă pentru a oferi indicii fizice care ajută pietonii cu

scăzută, copiii, persoanele și reabilitarea. Rezultatele evidențiază importanța sistemelor asistive în sprijinirea unui comportament funcțional și a unei vieți autonome pentru persoanele cu deficiențe de vedere.

Figura 2 prezintă o rețea de termeni extrași din literatura de specialitate, generați cu ajutorul software-ului VOSviewer. Au fost incluși doar termenii care apar de cel puțin patru ori în articolele analizate, pentru a evidenția conceptele dominante și relațiile semantice dintre acestea.

Aceste rezultate validează alegerea temei de cercetare și evidențiază necesitatea dezvoltării unor soluții inovatoare în domeniul sistemelor de asistență vizuală.

Concluzii

Analiza scientometrică realizată evidențiază o creștere semnificativă, în ultimii ani, a utilizării termenilor low vision, behavior și visual aid în literatura științifică. Această tendință reflectă un interes tot mai mare pentru intersecția dintre deficiențele de vedere, comportamentul utilizatorilor și tehnologiile asistive.

Frecvența ridicată a co-apariției termenilor low vision și visual aid sugerează că dezvoltarea și evaluarea tehnicilor și tehnologiilor de asistență vizuală reprezintă o direcție prioritară în cercetarea actuală. În plus, implicarea unui număr tot mai mare de autori din diverse țări subliniază caracterul global al preocupărilor legate de incluziunea persoanelor cu deficiențe de vedere și de îmbunătățirea calității vieții acestora prin soluții tehnologice inovatoare.

3.6. Concluzii

Într-o lume concepută în primul rând pentru cei cu vedere completă, persoanele cu vedere slabă se confruntă adesea cu provocări zilnice pe care mulți le consideră de la sine înțelese - citirea unui meniu la un restaurant, navigarea pe o stradă aglomerată sau recunoașterea unei fețe cunoscute. Cu toate acestea, datorită progreselor rapide ale tehnologiei, barierele impuse cândva de deficiența de vedere sunt treptat demontate.

Integrarea soluțiilor hardware și software a transformat modul în care oamenii cu vedere redusă interacționează cu mediul lor. Lupele tradiționale s-au transformat în dispozitive electronice sofisticate cu setări de mărire și contrast reglabile, permițând utilizatorilor să citească și să interacționeze cu lumea din jurul lor mai ușor.

Dincolo de îmbunătățirea vederii, instrumentele digitale de asistență au revoluționat accesibilitatea în viața de zi cu zi. Cititoarele de ecran și afișajele Braille deschid ușile către informații digitale, făcând posibil ca persoanele să studieze, să lucreze și să comunice la fel de eficient ca și colegii lor văzători. Asistenții vocali bazați pe inteligență artificială oferă confort sarcinilor de zi cu zi, permițând utilizatorilor să-și controleze mediul, să gestioneze programele și să acceseze informații cu comenzi vocale simple.

Capitolul 4

Fundamentare Teoretică

Persoanele cu vedere scăzută prezintă modificări complexe în coordonarea mișcărilor, echilibrul și postura, deoarece sistemele vizual, vestibular și proprioceptiv colaborează pentru menținerea stabilității și orientării spațiale. Deficitul vizual determină perturbări în:

Reflexele și echilibrul: Reflexul vestibulo-ocular (VOR), care stabilizează imaginea pe retină în timpul mișcării capului, este afectat indirect, ceea ce compromite orientarea spațială și stabilitatea. Persoanele cu vedere scăzută se bazează mai mult pe propriocepție și informații tactile pentru a compensa lipsa informațiilor vizuale.

Modificările posturale: Pozițiile capului, gâtului, brațelor și spatelui se ajustează pentru a compensa deficiența vizuală. Acest lucru implică adesea înclinarea capului înainte, mișcări reduse ale brațelor și schimbări în alinierea trunchiului, menite să optimizeze stabilitatea și să minimizeze riscul de cădere.

Biomecanica tălpii și a stabilității: Talpa piciorului, punctul principal de contact cu solul, joacă un rol esențial în detectarea variațiilor suprafeței și menținerea stabilității. În condiții de vedere scăzută, persoanele tind să adopte un mers precaut, cu un poligon de sprijin extins și cu o cadență mai redusă, ceea ce afectează forțele de reacție ale solului și distribuția presiunii plantare.

4.1. Studiul biomecanicii membrului inferior în locomoție

Termenul de biomecanică combină prefixul "bio", care înseamnă „viață”, cu domeniul mecanicii, care este studiul acțiunilor forțelor. [162]

Conform lui Roșca în cartea Fundamente de Biomecanică [163] "biomecanica este știința născută prin influența reciprocă între: biologie, medicină internă, chirurgie, protetică, robotică, traumatologie și studiul problemelor industriale legate de sănătatea omului." Statica și dinamica are două subramuri majore ale mecanicii.

Statica este studiul sistemelor care se află într-o stare de mișcare constantă, adică fie în repaus (fără mișcare), fie în mișcare cu o viteză constantă.

Dinamica este studiul sistemelor în care este prezentă accelerația.[162]

4.1.1. Baza de susținere

Baza de suport se referă la zona de sub un obiect sau persoană care include fiecare punct de contact pe care obiectul sau persoana îl face cu suprafața de susținere. Aceste puncte de contact pot fi părți ale corpului, de exemplu: picioare sau mâini sau pot include lucruri precum cârje sau scaunul în care stă o persoană.

4.1.2. Poligonul de susținere reprezintă suprafața delimitată de forțele plantare ale picioarelor (a tălpilei) și spațiul dintre ele. Este bine cunoscut că stabilitatea corpului este în strânsă legătură cu dimensiunea poligonului de susținere și cu unghiul de stabilitate.

4.1.3. Forța de împingere: Forța exercitată de piciorul în timpul fazei de sprijin pentru a propulsa corpul înainte. Aceasta este deosebit de semnificativă în timpul fazei terminale a sprijinului sau în faza de desprindere a piciorului, când acesta trece de la susținerea greutății corpului la împingerea acestuia înainte.

4.1.4. Presiunea plantară: evaluată pentru a înțelege modul în care greutatea corpului este distribuită pe suprafața tălpii în timpul mersului. Este un parametru fiabil pentru analizarea funcțiilor piciorului și oferă informații suplimentare în studiile privind etiologia afecțiunilor membrului inferior.[170]

4.1.5. Traiectoria

Traiectoria mersului se referă la calea urmată de o persoană în timpul mersului, influențată de factori precum poziționarea picioarelor, mișcarea membrelor și controlul echilibrului. Ea include atât aspectele spațiale (traiectoria piciorului și a corpului), cât și cele temporale (sincronizarea mișcărilor picioarelor).

4.1.6. Viteza și viteza liniară

Două mărimi care sunt în paralel cu distanța și deplasarea liniară sunt viteza și viteza liniară. Acești termeni sunt adesea folosiți interschimbabil în conversațiile de zi cu zi, însă în mecanică au semnificații precise și distincte.[162]

4.1.7. Accelerația

Accelerația (a) este definită ca rata de schimbare a vitezei sau schimbarea vitezei care are loc într-un interval de timp dat (t).

4.1.8. Concluzii

În concluzie persoanele cu vedere scăzută întâmpină modificări semnificative ale mersului, care afectează stabilitatea posturală, coordonarea mișcărilor, reflexele și echilibrul. Aceste schimbări duc la ajustări compensatorii ale posturii și dinamicii mersului, implicând segmentele superioare ale corpului (cap, gât, brațe, spate).

Biomecanica oferă o bază teoretică pentru studierea mersului, prin analiza forțelor și mișcărilor implicate în locomoție. Aceasta se concentrează pe dinamica și statica corpului, precum și pe interacțiunile dintre picior, sol și alte segmente anatomice.

4.2. Modele de studiu ale ciclului de mers

4.2.1. Modelul pendulului direct

Mișcarea de înainte și înapoi a picioarelor a fost comparată cu cea a unui pendul, iar dovezile indică faptul că dinamica pendulară ar putea explica o mare parte din faza de balans a mersului.

4.2.2. Modelul pendulului inversat al lui Gard

Este prezentat în Figura 4, modelul pendulului inversat al lui Gard, în care este introdus un picior virtual cu lungimea LV , iar piciorul este modelat ca un pendul cu raza r . [174]

4.2.3. Modelul Denavit Hartenberg

În timp ce modelele pendulului se concentrează pe mișcările brute și principiile energetice, le lipsește precizia necesară pentru a descrie interacțiunile comune, forțele și abaterile.

Modelul Denavit-Hartenberg compensează acest decalaj oferind o reprezentare cinematică a membrului inferior în spațiul 3D.

4.3. Analiza cinematică și dinamica a locomoției

4.3.1. Introducere

În timpul mersului, fiecare membru inferior aflat în faza de sprijin are patru funcții biomecanice esențiale:

- (1) generează forța de propulsie necesară deplasării;
- (2) menține stabilitatea verticală a corpului, în ciuda schimbărilor continue de poziție;
- (3) atenuează șocul produs la contactul cu solul;

(4) contribuie la conservarea energiei prin reducerea efortului muscular, datorită unei organizări eficiente a acestor funcții.

4.3.2. Mecanica Mișcărilor Piciorului

Mecanica mișcării umane cuprinde studiul forțelor, cinematicii și dinamicii care guvernează locomoția. Acest capitol explorează principiile mecanicii mișcării piciorului, cu accent pe dinamica mersului, distribuția presiunii și abaterile de mișcare. Perspectivile prezentate se bazează pe studii și metodologii cheie de cercetare care luminează relația complicată dintre anatomie, biomecanică și eficiența locomoției.

4.3.3. Cinematica Mișcărilor Piciorului

Cinematica este ramura biomecanicii care studiază mișcarea fără a lua în considerare forțele care o cauzează. Acest capitol aprofundează în principiile cinematicii piciorului, cu accent pe aplicațiile clinice, modelele de picior cu mai multe segmente și implicațiile atât pentru modelele de mișcare normale, cât și pentru cele patologice.

4.4. Abateri ale ciclului de mers

Pentru mersul normal, toate funcțiile și sistemele următoare trebuie să fie intacte: funcția locomotorie (pentru inițierea și susținerea mersului ritmic), echilibrul, reflexele posturale, funcția senzorială și integrarea motorie, controlul motor, aparatul musculo-scheletic și funcțiile cardio-pulmonare. Nervii aferenți din sistemul vizual, vestibular și proprioceptiv oferă informații esențiale despre poziția corpului și a părților sale. Tulburări în unul dintre aceste sisteme, de ex. propriocepția, poate fi parțial compensată de alte sisteme senzoriale, cum ar fi vederea.[189]

4.5. Confortul în mers

Mișcarea este esențială pentru interacțiunea omului cu mediul. Confortul în mișcare se referă la ușurința și eficiența cu care persoanele pot îndeplini sarcini fizice fără efort excesiv. Pentru persoanele cu deficiențe de vedere, confortul în mers prezintă provocări unice, influențate de interacțiunea complexă dintre factorii biomecanici, de mediu și senzoriali. Studii recente încearcă să elucideze mecanismele prin care persoanele cu deficiențe de vedere gestionează aceste provocări și modalitățile prin care mobilitatea lor poate fi îmbunătățită.

4.5.1. Biomecanica mersului

Biomecanica formează fundamentul pentru înțelegerea mecanicii mișcării umane. Sistemul musculo-scheletic al corpului, format din oase, mușchi, tendoane și ligamente, lucrează împreună pentru a produce mișcare. La persoanele cu deficiențe de vedere, adaptările mersului sunt adesea necesare pentru a compensa lipsa de informații vizuale.

4.5.2. Factorii de mediu și ergonomie

Designul de mediu influențează semnificativ confortul și siguranța persoanelor cu deficiențe de vedere. Mediile bine structurate - cum ar fi suprafețele plane, trotuarele mai largi și semnalele sonore la intersecțiile de trafic - sunt esențiale pentru îmbunătățirea confortului de mers pentru persoanele cu dizabilități vizuale.

4.5.3. Percepție senzorială

Feedback-ul senzorial joacă un rol crucial în reglarea confortului mișcării, în special pentru persoanele cu deficiențe de vedere. Sistemul somatosenzorial, care include propriocepția, kinestezia și simțul tactil, oferă informații esențiale despre poziția corpului și interacțiunea cu mediul. Pentru persoanele cu deficiențe de vedere, indiciile auditive și tactile servesc drept mecanisme compensatorii. Cercetările subliniază importanța semnalelor auditive în îmbunătățirea conștientizării spațiale, a siguranței și a confortului în timpul mobilității

4.6. Metode de măsurare și simulări ale ciclului de mers

Studiul ciclurilor de mers este fundamental pentru înțelegerea locomoției umane. Analiza mersului și metodele de simulare oferă instrumente esențiale pentru evaluarea, diagnosticarea și proiectarea intervențiilor pentru persoanele cu tulburări de mișcare sau pentru optimizarea performanței în sport și reabilitare. Acest capitol explorează metodele de măsurare și simulare pentru ciclurile de mers, organizate în două secțiuni principale: metode de măsurare și tehnici de simulare. Fiecare secțiune prezintă o prezentare generală a practicilor curente, evidențiind progresele în tehnologie și metodologie.

4.6.1. Metode de măsurare și evaluare

Măsurarea mersului implică cuantificarea diversilor parametri, cum ar fi lungimea pasului, cadența, viteza, unghiurile articulațiilor și forțele exercitate în timpul mersului. Aceste date oferă perspective asupra integrității funcționale a sistemului musculo-scheletic și nervos. Pentru a colecta aceste măsurători sunt utilizate metode tradiționale și avansate, de la evaluări observaționale la sisteme sofisticate de captare a mișcării.

4.6.1.1. Scala Tinetti

Evaluarea calității mersului este un instrument indispensabil în analiza funcțională a mobilității, în special la persoanele în vârstă sau cu diverse deficiențe locomotorii și senzoriale. Scala Tinetti (Performance-Oriented Mobility Assessment – POMA), dezvoltată de Mary Tinetti, este una dintre cele mai utilizate metode de evaluare clinică a mersului și echilibrului [202]. Aceasta oferă un scor general validat care poate fi utilizat pentru a estima riscul de cădere și pentru a urmări progresul pacienților în timp sau în urma intervențiilor terapeutice ori tehnologice [203].

Scala este structurată în două componente: scala de echilibru (maximum 16 puncte) și scala de mers (maximum 12 puncte). În contextul studiilor de analiză a mersului, cum ar fi cele care implică utilizarea unor dispozitive de ajutor vizual ori simularea unor afecțiuni vizuale, scala de mers este deosebit de relevantă și poate fi aplicată independent [204].

4.6.1.2. Senzori purtabili

Analiza mersului a folosit diferite tipuri de senzori și sisteme de mișcare, cum ar fi accelerometrul, giroscopul, senzorii magnetorezistivi, goniometrul flexibil, sistemul de urmărire electromagnetică (ETS), țesătura de detectare, senzorul de forță și senzori pentru electromiografie (EMG). Pe baza acestor senzori, un singur tip sau un sistem de senzori combinat de mai multe tipuri de senzori poate fi utilizat pentru diverse aplicații de analiză a mersului. [205]

4.6.1.3. Sisteme optice de captare a mișcării

Sistemul tipic de procesare a imaginii este format din mai multe camere digitale sau analogice cu lentile care pot fi folosite pentru a culege informații legate de mers. Tehnici precum filtrarea pragului care convertește imaginile în alb și negru, numărul de pixeli pentru a calcula numărul de pixeli deschiși sau întunecați sau segmentarea fundalului, care pur și simplu elimină fundalul imaginii, sunt doar câteva dintre modalitățile posibile de a culege date pentru măsurare. variabilele mersului

Camere de vedere / de profunzime

Sisteme optice de urmărire a mișcării biomecanice

Senzori inerțiali

Alți senzori

4.6.1.4. Sisteme pe podea

În sistemele bazate pe această tehnică, senzorii sunt amplasați de-a lungul podelei pe așa-numitele „platforme de forță” sau pasarele instrumentate unde mersul este măsurat de senzori de presiune sau de forță și traductoare de moment atunci când subiectul merge pe ele. Există două tipuri de senzori de podea: platforme de forță și sisteme de măsurare a presiunii

4.6.1.5. Analiză bazată pe video

Analiza mersului bazată pe video folosește fluxurile camerei și algoritmi software pentru a estima unghiurile articulațiilor și traiectoriile de mișcare fără markeri fizici.

Tipuri de camere

În analiza mersului bazată pe video au fost folosite diverse camere, fiecare cu caracteristici distincte potrivite pentru aplicații specifice. Următoarele tipuri și configurații de camere sunt utilizate în mod obișnuit:

Camerele video standard.

Camerele de mare viteză.

Camerele fără marker.

Tipuri de software

O varietate de programe software sunt utilizate pentru a analiza datele video colectate în timpul analizei mersului. Acestea includ soluții comerciale, open-source și dezvoltate la comandă:

- Dartfish: Software utilizat frecvent pentru analiză cinematică și spațio-temporală.
- Kinovea: Software cu sursă deschisă folosit adesea în aplicații sportive și clinice.

4.6.2. Metode de simulare

Metodele de simulare oferă un mediu controlat pentru a studia dinamica mersului, a prezice rezultatele intervențiilor și a antrena algoritmi pentru recunoașterea mersului. Aceste metode modelează complexitatea mișcării umane și permit experimentarea fără testare fizică.

4.6.2.1. Tehnici de simulare dinamică

Tehnicile de simulare dinamică se concentrează pe modelarea mecanicii mișcării umane, încorporând forțe, cupluri și dinamica mișcării. Aceste tehnici se bazează de obicei pe dinamica corpului rigid și modelarea musculo-scheletale pentru a simula mersul uman. Simulările dinamice sunt folosite pentru a studia sarcinile articulare, modelele de activare musculară și efectele dispozitivelor de asistență asupra mersului.

Acestea oferă informații despre modul în care factorii externi, cum ar fi terenul denivelat sau obstacolele, afectează mersul pe jos.

4.6.2.2. Simulări de mers în realitate virtuală (VR)

Simulările de mers în realitate virtuală (VR) creează medii captivante pentru analiza și antrenamentul mersului. Aceste simulări permit cercetătorilor să studieze mersul în scenarii controlate, repetabile.

VR este utilizat pe scară largă în reabilitarea mersului, antrenamentul echilibrului și pentru studiul impactului factorilor de mediu asupra mersului.

4.6.2.3. Modele de biomecanică computațională

Modelele de biomecanică computațională sunt cadre matematice utilizate pentru a simula forțele, mișcările articulațiilor și consumul de energie asociate cu mersul. Aceste modele încorporează adesea analiza cu elemente finite (FEA) și dinamica inversă. Folosite în mod obișnuit în medii de cercetare și clinice, aceste modele analizează stresul articular, forțele musculare și eficiența energetică în timpul mersului.

4.7. Contribuții la modelarea și simularea ciclului de mers în raport cu funcția vizuală

Mersul este un proces biomecanic care necesită coordonarea între sistemul musculo-scheletal, sistemul vizual și respectiv sistemul vestibulocular. Vederea joacă un rol esențial în conștientizarea spațială, echilibru și mers, permițând persoanelor să anticipeze obstacolele, să își ajusteze lungimea pasului și să mențină o traiectorie stabilă. Persoanele cu deficiențe de vedere întâmpină adesea dificultăți în mers, ceea ce poate duce la abateri laterale crescute, instabilitate și distribuții modificate ale presiunii plantare.

Pentru a înțelege mai bine modul în care diferitele deficiențe de vedere afectează caracteristicile ciclului de mers a fost dezvoltată o simulare folosind mediul de programare LabVIEW. Această aplicație modelează mersul pe o traiectorie ideală ochi emetrop (vedere normală) și o compară cu 5 condiții vizuale diferite: strabism, degenerescență maculară (AMD), cataractă, glaucom și cecitate. Simularea urmărește abaterile de la traiectoria ideală și analizează distribuția presiunii plantare pe baza greutății corporale și a fazelor de contact a piciorului cu solul în condiții vizuale diferite menționate anterior.

4.7.1. Mediul de programare Labview

LabView este software-ul ales pentru a face această simulare deoarece îndeplinește mai multe condiții, cum ar fi:

- Interfața grafică - LabVIEW oferă o abordare intuitivă de programare bazată pe module, facilitând dezvoltarea și modificarea simulărilor fără codificare extinsă.
- Capacități de procesare a datelor - platforma este potrivită pentru gestionarea operațiilor matematice complexe și a fluxurilor de lucru bazate pe logica interoperațională.
- Flexibilitate în modelarea prin simulare - Spre deosebire de alte limbaje de programare care necesită codare manuală extinsă, LabVIEW permite crearea rapidă de prototipuri virtuale și vizualizarea datelor.

4.7.2. Definirea parametrilor

Pentru o analiză precisă a ciclului de mers, selectarea parametrilor inițiali este importantă în asigurarea unei simulări realiste. Au fost aleși mai mulți parametri esențiali pe baza relevanței biomecanice, aplicabilitatea practică și adaptabilitatea la diferiți indivizi. Parametrii primari utilizați în această simulare

includ traiectoria ciclului de mers, greutatea corporală, mărimea tălpii, zonele de contact ale tălpii cu solul și distribuția presiunii plantare.

A) Traiectoria de deplasare

Traiectoria de deplasare reprezintă linia de deplasare a proiecției pe sol a centrului de masă corporal general, pe un traseu prestabilit și constituie un indicator în analiza stabilității direcționale a locomoției. [211] În cadrul simulării realizate, traseul ciclului de mers are o lungime de 5 m, fiind parcurs, în medie, în aproximativ 8 pași consecutivi, fiecare având o lungime estimată în medie de 60 cm. Simularea redă această traiectorie utilizând două linii de referință:

B) Greutatea corporală

Greutatea corporală reprezintă un factor antropometric influențând semnificativ distribuția presiunii plantare și încărcarea structurilor osteo-articulare. [212] Pentru a asigura aplicabilitatea simulării la o varietate largă de profiluri antropometrice, greutatea corporală este introdusă ca parametru reglabil, cuprins între 30 kg și 160 kg. Această flexibilitate permite investigarea modului în care diferite mase corporale afectează traiectoria ciclului de mers, presiunea de contact plantar și stabilitatea posturală.

În condiții reale, o greutate corporală crescută determină creșteri locale ale presiunii plantare în regiunea călcâiului, a tarsienelor și a metatarsienelor, ceea ce poate contribui la instabilitate.

C) Dimensiunea suprafeței plantare – Reprezentată prin codificarea numărului dimensional al încălțăminte
Dimensiunea suprafeței plantare reprezintă un parametru important în analiza mersului, influențând atât distribuția presiunii plantare, cât și stabilitatea în timpul sprijinului. În cadrul aplicației de simulare dezvoltate, această variabilă este modelată printr-un interval reglabil corespunzător numerelor în standardul european (EU 30–48), ceea ce permite adaptarea suprafeței plantare la o gamă largă de utilizatori, de la copii până la adulți.

D) Ochi ametrop (strabism, DMLV/AMD, cataractă, glaucom, cecitate)

Pentru a simula abaterile de mers în mediu real au fost modelate șase condiții diferite de ochi cu ametropii:

- Vedere normală
- Strabism
- Degenerescenta maculară legată de vârstă (DMLV/AMD)
- Cataracta
- Glaucom
- Cecitate

E) Zone de contact plantare în simularea mersului

În cadrul simulării ciclului de mers, suprafața plantară este segmentată în patru regiuni funcționale, conform literaturii de specialitate [214] pentru a reflecta fidel secvența reală de contact și transfer al forței în timpul mersului. Această împărțire este esențială pentru analiza distribuției presiunii și a stabilității dinamice în condiții normale de vedere și respectiv în prezența deficiențelor vizuale.

- Zona călcâiului
- Zona mediană
- Zona metatarsiană
- Zona tarsienele (degetele de la picioare)

Fiecare dintre aceste zone se confruntă cu grade diferite de presiune, influențate de distribuția greutății, viteza de mers și condițiile vizuale.

F) Distribuția presiunii plantare

Presiunea plantară este un indicator biomecanic important în analiza ciclului de mers, reflectând modul în care forțele sunt aplicate la nivelul tălpii în timpul mersului. Simularea modelează distribuția presiunii pe suprafața plantară bazându-se pe greutatea corporală. S-a ales o suprafață plantară de referință de 12455 mm², reprezentând un picior mediu de adult (Tabel nr. 6)

În această simulare se clasifică presiunea în cinci niveluri pentru vizualizare (în raport de greutate corporală și suprafață plantară) :

- Verde – Presiune normală- Valoarea de referință
- Galben – 1,5x Presiune normală- Valoarea de referință
- Portocaliu – 2,5 x Presiune normală- Valoarea de referință
- Roșu – 2,75 x Presiune normală- Valoarea de referință
- Gri – Nu a fost detectată nicio presiune în acea zonă

Se utilizează o entitate de tip LED virtual bazat pe logică Booleană care este un element software ce simulează comportamentul unui LED fizic, iar starea sa (pornit/oprit) este determinată de evaluarea unei expresii logice (Booleană).



Fig. 3 Simulare a amprentei plantare a piciorului stâng împărțită pe cele 4 zone cu toate cele 5 tipuri de entități de tip LED virtual

4.7.3. Analiza abaterilor traiectoriei și presiunii plantare

Pentru a înțelege efectele deficiențelor vizuale asupra mecanismului ciclului de mers, simulatorul dezvoltat în LabVIEW furnizează atât rezultate vizuale (grafic), cât și valori numerice privind traiectoria mersului și distribuția presiunii plantare.

A) Calculul abaterilor de mers

În cadrul simulării se calculează abaterile ciclului de mers pe baza a două mărimi principale:

Abateră lungimii pasului (Ox): Diferența de lungime a pasului în comparație cu dimensiunea acestuia în traiectoria ideală.

Deviația laterală (Oy): Mărimea abaterii laterale a traiectoriei simulate în deficiențe vizuale față de traiectoria ideală.

Per ansamblu, acest profil de abateri ale presiunii plantare evidențiază modificările biomecanice complexe care apar în mersul persoanelor cu deficiențe vizuale, subliniind nevoia de a înțelege și de a corecta aceste tipare în cadrul programelor de reabilitare.

B) Presiune plantară de referință vs. presiune plantară simulată

Simularea realizată în LabView evaluează presiunea plantară prin compararea celor 2 categorii de presiuni plantare calculate:

- Distribuția presiunii de referință: Presiunea așteptată aplicată pe fiecare dintre cele patru zone de contact ale tălpii în condiții normale de mers.

- Distribuție simulată a presiunii: Valorile modificate ale presiunii înregistrate în timpul simulării pentru diferite deficiențe de vedere.

Prin compararea datelor de referință și a datelor simulate se poate observa modul în care abaterile traiectoriilor influențează distribuția presiunii în diferite regiuni ale tălpii piciorului.

Se observă următoarele aspecte relevante:

- Zona metatarsienelor: presiunea simulată este mai mare cu aproximativ 7% față de referință ($12,61 \text{ N/cm}^2$ față de $11,81 \text{ N/cm}^2$), indicând o tendință de supraîncărcare anterioară în cadrul mersului simulat.

- Zona mediană: presiunea simulată este mai mică cu aproximativ 12% față de referință ($0,52 \text{ N/cm}^2$ față de $0,59 \text{ N/cm}^2$), sugerând un sprijin redus pe această zonă, posibil datorită adaptărilor posturale.

- Zona falangelor: presiunea simulată este apropiată de referință mai mare cu aproximativ 4% ($9,83 \text{ N/cm}^2$ față de $9,45 \text{ N/cm}^2$), ceea ce indică o implicare relativ normală a zonei anterioare în propulsie, în ciuda deficiențelor vizuale.

- Zona călcâiului: diferența este semnificativă ajungând la valori crescute cu până la 80% (presiune simulată de $15,1 \text{ N/cm}^2$ față de $8,37 \text{ N/cm}^2$). Aceasta reflectă o strategie compensatorie puternică, în care subiectul simulat tinde să mențină un sprijin prelungit și accentuat pe călcâi pentru stabilizare.

Aceste rezultate evidențiază modul în care deficiențele vizuale afectează nu doar traiectoria mersului, ci și dinamica sprijinului plantar, conducând la adaptări biomecanice care pot avea implicații importante asupra echilibrului și eficienței mersului.

C. Evaluarea grafică a abaterilor de presiune plantară simulate

Diferențele dintre presiunea plantară de referință și cea simulată apar din cauza deficiențelor vizuale.

Simularea mersului în cataractă relevă o abatere medie de 22,53 mm pe OX și 12,84 mm pe OY. Deși deviațiile sunt mai mici decât în DMLV, traiectoria păstrează o tendință oscilatorie, asociată cu o reducere a clarității vizuale globale. Mersul este caracterizat prin pași mai scurți și ajustări frecvente ale traiectoriei. În glaucom, abaterea longitudinală atinge 69,5 mm, iar cea laterală 89,85 mm. Pierderea vederii periferice afectează capacitatea de menținere a direcției de mers, rezultând un traseu fluctuant, cu corecții târzii și devieri frecvente față de traiectoria ideală.

Cecitatea totală generează cele mai mari deviații: 102,02 mm pe OX și 119,39 mm pe OY. Lipsa completă a inputului vizual determină o traiectorie neregulată, puternic dependentă de mecanisme compensatorii (propriocepție, auz). Traiectoria este instabilă, cu direcție imprevizibilă și abateri frecvente de la vectorul de deplasare optim.

Analiza vizuală a acestor traiectorii confirmă faptul că simulatorul reflectă în mod realist efectele diverselor deficiențe vizuale asupra stabilității mersului. Severitatea și tipul deficienței influențează în mod clar atât amplitudinea, cât și frecvența deviațiilor laterale, oferind un suport vizual pentru înțelegerea mecanismelor de compensare utilizate de persoanele cu vedere afectată.

În concluzie, analiza vizuală a distribuției presiunii plantare demonstrează impactul deficiențelor vizuale asupra mecanicii ciclului de mers. Pe măsură ce severitatea deficitului vizual crește, modelul de sprijin devine tot mai asimetric, cu tendințe de supraîncărcare a anumitor zone plantare și cu o scădere a eficienței propulsiei. Aceste observații susțin validitatea simulatorului dezvoltat și oferă perspective utile pentru înțelegerea strategiilor compensatorii adoptate de persoanele cu vedere afectată.

4.8. Concluzii

Rezultatele obținute prin simularea ciclului de mers în condiții de deficiență vizuală a subiectului arată că aceste deficiențe au un impact semnificativ asupra biomecanicii mersului. Atât abaterile de traiectorie, cât și modificările distribuției presiunii plantare obținute în urma simulării, reflectă mecanisme compensatorii complexe, ce pot fi adoptate pentru a menține echilibrul și orientarea în timpul deplasării.

Se constată creșteri ale deviațiilor laterale și longitudinale ale traiectoriei ciclului de mers, însoțite de o instabilitate accentuată pe direcția de deplasare, pe măsură ce severitatea deficienței vizuale crește. În același timp, apare o asimetrie tot mai pronunțată a mersului, observabilă atât la nivelul traiectoriei, cât și în diferențele dintre lungimea pasului pentru piciorul stâng și pentru piciorul drept.

În ceea ce privește distribuția presiunii plantare, analiza relevă în cazul deficiențelor vizuale analizate o tendință de supraîncărcare a suprafeței plantare compensatorie în zona călcâiului, asociată cu o reducere a sprijinului pe zona mediană și cu o variabilitate crescută în încărcarea pe suprafața de contact a metatarsienelor și a falangelor. Aceste modificări sugerează abordarea de strategii motorii de adaptare menite să compenseze instabilitatea direcțională și incertitudinea în controlul postural.

Concluzionând, simularea confirmă faptul că deficiențele vizuale determină modificări biomecanice complexe ale ciclului de mers, cu implicații importante pentru echilibru și siguranța deplasării. Instrumentul de simulare dezvoltat permite o analiză detaliată a acestor fenomene și poate constitui o bază utilă pentru proiectarea de intervenții personalizate în reabilitarea mersului la persoanele cu deficiențe de vedere.

Capitolul 5

Proiectarea sistemului experimental

Dispozitivul dezvoltat abordează aceste două provocări principale: accesibilitatea și confortul comportamental. Prin crearea unui prototip eficient, cu costuri competitive, capabil să asiste utilizatorii în detectarea obstacolelor în timp real, scopul a fost de a promova experiențe de mers mai sigure și mai confortabile pentru persoanele cu deficiențe de vedere. O atenție deosebită a fost acordată aspectului comportamental al mersului, concentrându-se nu numai pe evitarea obstacolelor, ci și pe cât de încrezător și natural se simte utilizatorul în timpul mișcării.

5.1. Conceperea sistemului experimental

Dispozitivul a fost gândit în mod intenționat montat pe trunchi din mai multe motive cheie:

- Orientarea naturală către obstacole - Toracele este orientat înainte, în conformitate cu direcția de mers a utilizatorului
- Stabilitatea citirilor senzorilor - În comparație cu sistemele de mână sau montate pe cap, pieptul oferă o platformă relativ stabilă în timpul mersului

- Operare cu mâinile libere - Persoanele cu deficiențe de vedere se bazează frecvent pe baston sau câini ghid. Un sistem montat pe piept evită ocuparea mâinilor sau interferarea cu ajutoarele de mobilitate, păstrând independența și confortul.

- Conștientizarea centrată pe corp - Montarea sistemului la tors oferă feedback intuitiv. Avertismentele de obstacole corespund spațial corpului utilizatorului, sporind percepția și reacția

- Evitarea obstrucției sau oboselii - Dispozitivele montate pe cap sau pe mână pot provoca disconfort sau oboseală în timp.

Pentru a simula percepția vizuală centrală a unei persoane, servomotorul a fost programat să efectueze o mișcare oscilatorie într-un unghi de 60 de grade, corespunzător câmpului vizual central binocular. Acest unghi acoperă aproximativ $\pm 30^\circ$ față de axa vizuală, reprezentând zona în care detecția obstacolelor este cea mai relevantă pentru orientarea direcțională și deciziile de mers.

5.2. Construcția sistemului experimental

Dispozitivul integrează o serie de componente electrice și electronice atent selectate care echilibrează rentabilitatea cu fiabilitatea funcțională: Senzor de distanță în infraroșu (Sharp GP2Y0A02YK0F), Placa Arduino Uno, Modul Buzzer, Micro Servomotor SG90 (rotație de 90°), Condensator electrolitic, Cablu USB (30 cm).

Dispozitivul utilizează patru zone principale de proximitate, fiecare asociată cu o anumită intensitate sonoră:

- 20–50 cm: Sunet audibil foarte puternic (1000Kz) – obstacol imediat, alertă critică.
- 51–70 cm: Sunet puternic (800Hz) – obstacol detectat la o distanță moderată; se recomandă prudență.
- 71–100 cm: Sunet mediu (600Hz) – obstacol detectat la o distanță sigură.
- 101–149 cm: Sunet scăzut (400Hz) – avertizare timpurie.
- ≥ 150 cm: Niciun sunet – nici un obstacol detectat în rază.

Acest sistem oferă feedback intuitiv și progresiv, permițând utilizatorilor să ia decizii în timp util și să își ajusteze mersul în consecință.

Programarea algoritmului de funcționare

Codul Arduino implementează un sistem integrat de detecție a obstacolelor utilizând un senzor de distanță SHARP GP2Y0A02YK0F, un buzzer piezoelectric și un servomotor. Scopul este evaluarea în timp real a distanței față de un obiect și generarea unui răspuns auditiv și mecanic în funcție de poziționarea acestuia. Senzorul SHARP produce un semnal analogic invers proporțional cu distanța detectată.

5.3. Proiectarea procedurii de utilizare

Procedura de utilizare a dispozitivului Sonar pentru detecția obstacolelor se adresează persoanelor cu deficiențe de vedere care se deplasează în medii exterioare. Dispozitivul, purtat pe piept cu ajutorul unui ham sau al unei veste, are rolul de a avertiza utilizatorul în legătură cu prezența obstacolelor aflate în fața sa, în raza de acțiune a senzorului, respectând principiile ergonomice pentru asigurarea confortului.

5.4. Modalitate de stocare și întreținere

Pentru a asigura o funcționare optimă și de durată a dispozitivului Sonar, este esențial ca acesta să fie întreținut corespunzător și depozitat în condiții adecvate. După fiecare utilizare, dispozitivul trebuie oprit, apoi curățat cu grijă, folosind o cârpă uscată sau ușor umedă, fără a aplica lichide direct pe componentele electronice. În mod special, suprafața senzorului trebuie menținută curată, deoarece acumularea de praf sau murdărie poate afecta precizia măsurărilor și, implicit, eficiența avertizărilor sonore.

5.5. Concluzii

Dezvoltarea dispozitivului de tip sonar dedicat persoanelor cu deficiențe de vedere a urmărit integrarea unui set de soluții tehnice și ergonomice care să răspundă nevoilor reale de mobilitate, siguranță și confort comportamental. Analiza proiectului permite formularea următoarelor concluzii, grupate pe trei dimensiuni esențiale:

Design: Dispozitivul, purtat pe piept și susținut de un ham ergonomic, oferă stabilitate, confort și protecție eficientă a componentelor.

Funcționalitate: Sistemul detectează obstacole între 20–150 cm și oferă feedback auditiv diferențiat, adaptat distanței și direcției.

Utilizabilitate: Interfața auditivă intuitivă și întreținerea minimă fac dispozitivul potrivit pentru utilizare zilnică și testare rapidă.

Capitolul 6.

Comparația și integrarea sistemului Sonar cu structuri de ajutor vizual

Pentru a putea analiza eficiența sistemului Sonar, creat în cadrul acestei cercetări, acesta a fost testat și comparat cu alte 3 dispozitive de ajutor vizual, existente în cadrul laboratorului. Aceste sisteme sunt:

1. Sistem de tip Baston cu senzori de distanță și avertizare
2. Sistem de tip Manșetă cu senzori ultrasonici și avertizare
3. Sistem de tip Tridirecțional bimodular și avertizare sonoră

6.1. Sistem tip Baston

Bastonul din dotarea laboratorului [212] este un dispozitiv de ajutor vizual destinat persoanelor cu cecitate sau vedere slabă, care are scopul îmbunătățirii capacității de deplasare și a confortului psihologic asociat limitării vizuale.

6.2. Sistem tip Manșetă

A fost comparat și un dispozitiv portabil de tip manșetă prevăzută cu senzor ultrasonic și avertizare auditivă, dezvoltat și pus la dispoziție de Laboratorul de Optometrie Aplicată a Universității Transilvania din Brașov [213]. Acest sistem are ca scop detectarea obstacolelor aflate în fața utilizatorului la nivelul trunchiului și transmite un semnal sonor de intensitate variabilă în funcție de distanță. Dispozitivul a fost utilizat în forma sa standard, în vederea comparării eficienței sale cu alte soluții testate, inclusiv dispozitivul original propus în această lucrare.

6.3. Sistem Tridirecțional

Acesta a fost conceput în 2018 pentru lucrarea de disertație a autorului [215] din cadrul programului de studii "Sisteme mecatronice pentru industrie și medicină" în cadrul Universității Transilvania din Brașov.

Sistemul a fost conceput pentru a fi cât mai ușor de utilizat și de transportat deoarece va fi atașat de subiect în două puncte esențiale: la nivelul taliei printr-o curea și pe piciorul subiectului, deasupra genunchiului printr-un sistem de prindere cu scai.

6.4. Comparație

În vederea realizării unei analize comparative riguroase a celor patru dispozitive de asistență vizuală – baston cu senzori, manșetă portabilă, sistem tridirecțional și dispozitivul sonar creat în cadrul acestei lucrări – a fost necesară definirea unui set de criterii de evaluare, structurate în funcție de natura lor: obiective sau subiective, cantitative sau calitative, generale sau personalizate.

Manșeta portabilă, deși simplă ca structură, oferă o soluție extrem de practică pentru detectarea rapidă a obstacolelor frontale. Portabilitatea ridicată și costul redus sunt avantajele sale esențiale, dar ocuparea unei mâini și aria restrânsă de detecție o fac mai potrivită pentru utilizări limitate sau pentru completarea altor metode de ajutor vizual.

Dispozitivul tridirecțional oferă cea mai completă conștientizare spațială, prin detectarea obstacolelor la mai multe niveluri ale corpului. Feedback-ul sonor diferențiat ajută utilizatorul să identifice poziția exactă a obstacolului, însă complexitatea montării și vizibilitatea crescută a componentelor pot reduce gradul de acceptare în utilizare zilnică.

Dispozitivul Sonar creat în cadrul acestei lucrări aduce un echilibru reușit între funcționalitate, confort și accesibilitate. Montarea pe piept asigură un feedback intuitiv, mâinile rămân libere, iar sistemul de detecție dinamic, realizat prin rotirea senzorului, acoperă eficient zona frontală de mers. Limitarea sa principală constă în lipsa detecției obstacolelor aflate sub nivelul trunchiului, însă acest aspect poate fi compensat prin utilizarea combinată cu un baston alb.

6.5. Concluzii

În concluzie analiza comparativă a celor patru dispozitive de asistență vizuală a evidențiat multiple particularități tehnice și funcționale, relevând faptul că nu există o soluție universal optimă, ci mai degrabă abordări complementare, adaptabile diverselor profiluri de utilizatori și scenarii de deplasare.

Capitolul 7.

Protocol de testare și procedură experimentală

Testările pentru evaluarea dispozitivului sonar purtat pe piept au fost desfășurate în cadrul unui laborator specializat al Institutului de Cercetare-Dezvoltare al Universității Transilvania din Brașov, într-un spațiu interior controlat, destinat activităților experimentale și de analiză biomecanică. Alegerea acestui spațiu a avut în vedere asigurarea unui mediu sigur, cu variabile ambientale constante și cu posibilitatea monitorizării comportamentului utilizatorului în timpul mersului.

Spațiul a permis o monitorizare vizuală directă a participanților de către cercetător, iar traseul a fost parcurs individual, fără asistență ghidată.

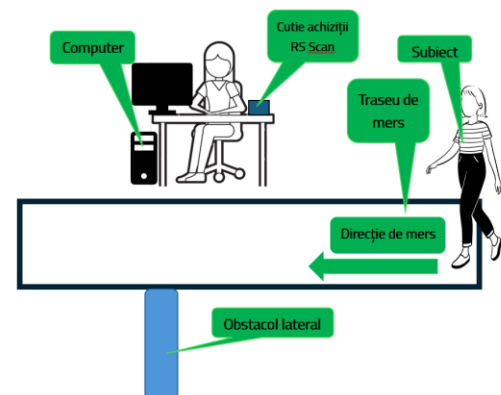


Fig. 4 Schemă a spațiului utilizat pentru experiment

7.1 Testare preliminară: evaluarea individuală a deficiențelor vizuale

Înainte de a efectua studiul de grup principal, a fost efectuată o fază inițială de autoevaluare pentru a înțelege mai bine impactul diferitelor deficiențe vizuale simulate asupra mersului și presiunii plantare.

7.1.1 Deficiențe vizuale simulate și configurarea testării

Testarea preliminară a inclus cinci condiții de mers: vedere normală și patru deficiențe vizuale simulate - glaucom, cataractă, degenerescență maculară și orbire.[139] Fiecare condiție a fost testată folosind ochelari de simulare care au reprodus caracteristicile vizuale specifice fiecărei patologii. Ochelarii de simulare au limitat acuitatea vizuală în diferite moduri:

- Glaucom: constricția câmpului periferic (vedere în tunel)
- Cataractă: vedere încețoșată și cu contrast redus
- Degenerescenta maculară: pierderea vederii centrale cu periferie conservată
- Orbire: ocluzia totală a vederii

Subiectul implicat în faza de testare preliminară a fost codificat ca Subiect 1 în această fază. Participantul este o femeie în vârstă de 30 de ani, cu experiență profesională în optometrie.

Măsurătorile antropometrice au inclus greutatea corporală de 50 de kilograme, înălțimea de 160 cm și mărimea pantofilor 36. Aceste dimensiuni au plasat subiectul în percentila 25 pentru înălțimea și greutatea femeilor adulte, indicând o statură corporală sub medie, care a fost luată în considerare la analiza modelelor de mers și distribuția presiunii plantare. Subiectul a participat la toate încercările de mers pentru faza de testare preliminară, atât cu încălțăminte, cât și fără încălțăminte și în fiecare dintre cele patru condiții simulate de deficiență vizuală.

7.1.2 Colectarea și interpretarea datelor

În această fază, au fost colectate numai datele de presiune RSScan și parametrii de mers. Acestea au inclus lungimea pasului, cadența, distribuția presiunii și simetria. Nu au fost înregistrate observații personale sau impresii subiective. Intenția a fost de a utiliza date obiective pentru a evalua care simulări cu deficiențe de vedere au avut cel mai puternic efect măsurabil asupra modelelor de mers.

7.1.3. Rezultate preliminare

Pentru toate graficele în mers normal fără papuci (MNFP) codul de culori este:

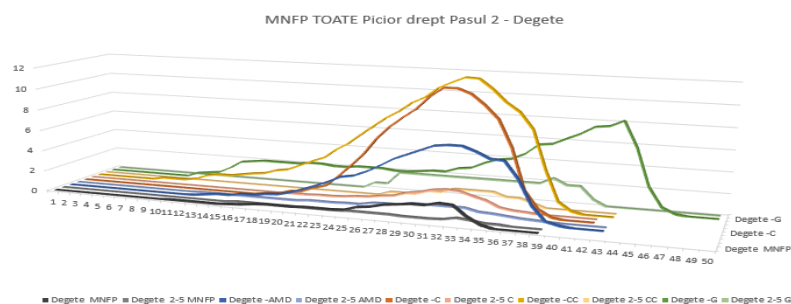


Fig. 5 Măsurătorile efectuate la nivelul degetelor în mers normal fără încălțăminte, piciorul drept, gradient de gri pentru mersul normal, gradient de albastru pentru simularea degenerescentei maculare, gradient de portocaliu pentru simularea de cataractă, gradient de galben pentru simularea cecității și gradient de verde pentru simularea glaucomului

- Pentru mersul normal este un gradient de Gri
- Pentru mersul normal cu simulare de Degenerescență maculară (AMD) un gradient de Albastru

- Pentru mersul normal cu simulare de Cataractă (C) un gradient de Portocaliu
- Pentru mersul normal cu simulare de Cecitate (CC) un gradient de Galben
- Pentru mersul normal cu simulare de Glaucom (G) un gradient de Verde

În graficul din fig.5 pe axa Y avem presiunea aplicată pe degetul mare (sub denumirea de Degete) și pe celelalte 4 degete de la picioare (sub denumirea de Degete 2-5), iar pe axa X durata pasului.

Se poate observa cum durata pasului dar și presiunile sunt mai mici pe culoarea gri care aparține unei măsurători fără nici un fel de obstrucționare a vederii, de unde deducem că cea mai confortabilă măsurătoare este cea cu vedere bună. Graficul conturează ideea că atunci când o persoană are orice fel de deficiență de vedere presiunea aplicată la nivelul degetelor picioarelor va fi mult mai mare decât pentru o persoană cu vedere normală.

Datele prezentate în graficul din Fig. 136 ne arată că cele mai mari presiuni apar atunci când persoana măsurată simulează fie o cataractă avansată (Portocaliu), fie cecitate (Galben), iar durata pasului este cea mai lungă este atunci când persoana simulează Glaucom (Verde). Reprezentarea grafică din Fig.136 evidențiază disconfortul creat de oricare din cele 4 probleme vizuale simulate în raport cu mersul liber fără deficiențe. Informațiile prezentate în grafic evidențiază că persoana ia contact cu placa în zona degetelor o perioadă mai lungă de timp atunci când nu este sigură de pasul pe care îl face.

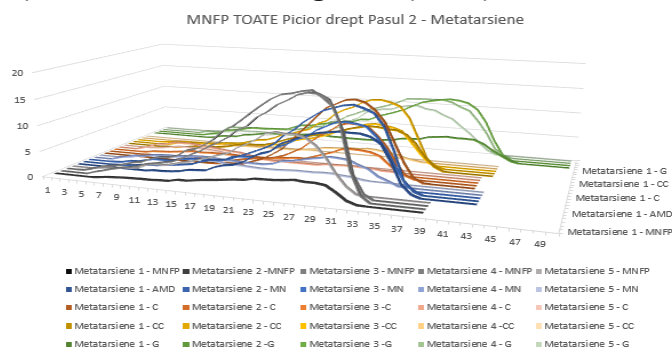


Fig. 6 Măsurătorile efectuate la nivelul metatarsienelor în mers normal fără încălțăminte, piciorul drept, gradient de gri pentru mersul normal, gradient de albastru pentru simularea degenerescentei maculare, gradient de portocaliu pentru simularea de cataractă, gradient de galben pentru simularea cecității și gradient de verde pentru simularea glaucomului

În graficul din fig. 6 pe axa Y avem presiunea aplicată pe metatarsiene numerotate de la 1 la 5 pentru fiecare măsurătoare în parte, iar pe axa X durata pasului. Graficul din Fig.6 evidențiază că deși forțele sunt mai mari pe metatarsiene pasul este mai scurt ceea ce semnifică un pas apăsător și scurt în mersul normal, pe când mersul cu diferite patologii simulate este în multe cazuri la fel de apăsător dar mai lung dovedind nesiguranță.

7.1.4. Concluzii din testarea preliminară

Testarea preliminară desfășurată pe un singur subiect a oferit informații importante, obiective/subiective privind influența simulărilor de deficiență vizuală asupra parametrilor biomecanici ai mersului. Rezultatele obținute au evidențiat modificări semnificative atât în distribuția presiunii plantare, cât și în durata pasului, în funcție de tipul deficienței simulate.

Analiza presiunii aplicate pe degete și metatarsiene a arătat o tendință clară de creștere a valorilor presiunii plantare în condiții de simulare a deficiențelor vizuale, bazându-se pe înțelegere cognitivă, și realizând comparații cu mersul în condiții normale (fără deficiențe vizuale). De asemenea, s-a observat o prelungire

a duratei contactului cu solul în cazul simulării cu orbire și glaucom, indicând o adaptare precaută a subiectului în lipsa informației vizuale relevante.

7.2. Testarea experimentală: evaluarea comportamentului biomecanic pe durata ciclului de mers utilizând dispozitive de ajutor vizual pe eșantion de subiecți

7.2.1. Metodologie experimentală

Examinarea comportamentului locomotor al persoanelor cu deficiență de vedere simulată s-a realizat în condiții controlate de laborator, urmând o procedură complexă, etapizată, menită să asigure consistența, reproductibilitatea și relevanța datelor obținute. Studiul a fost desfășurat într-un spațiu special amenajat din cadrul Institutului de cercetare al Universității Transilvania din Brașov, care a oferit infrastructura necesară pentru desfășurarea în siguranță a experimentului și pentru obținerea unor măsurători biomecanice precise.

A. Evaluarea spațiului experimental

Testările au fost efectuate într-un laborator de cercetare, într-un mediu securizat, cu iluminare constantă și podea uniformă. Traseul de mers a fost construit drept, cu o lungime de 3 metri, fiind delimitat vizibil la nivelul solului.

Pentru a asigura repetabilitatea și acuratețea măsurărilor, la începutul fiecărei sesiuni experimentale s-a verificat respectarea condițiilor de mediu inițiale, în conformitate cu parametrii stabiliți în metodologie.

Au fost monitorizate și menținute în limite controlate următoarele variabile:

- Temperatura ambientală medie $21^{\circ}\pm 1^{\circ}\text{C}$
- Umiditatea relativă a aerului între 40–60%
- Presiunea atmosferică în jurul valorii de 760 mmHg
- Lipsa zgomotelor sau vibrațiilor externe care ar putea influența mersul sau concentrarea participanților
- Iluminare naturală în zona de lucru 200–300 lx.

B. Alegerea Instrumentelor

Alegerea instrumentelor a fost realizată în funcție de obiectivele studiului, cu scopul de a asigura măsurători precise și comparabile între diferite condiții de mers.

Platforma RSScan

Software-ul Footscan 7 Gait

Ochelari de simulare a glaucomului și cataractei

Cele patru dispozitive de asistență vizuală:

- Baston cu senzori -
- Manșetă portabilă -
- Sistem Tridirecțional
- Sonar experimental -

Chestionarul Tinetti Gait

Chestionarul de percepție subiectivă

Întrebarea 1: Cât vă afectează disfuncția vizuală?

Întrebarea 2: Cât vă afectează funcția vizuală în mobilitate?

Întrebarea 3: Care parte a corpului a fost mai solicitată pe durata înregistrărilor?

Întrebarea 4: Care dispozitiv a fost cel mai ușor de montat?

Întrebarea 5: Care a fost dispozitivul cel mai greu (fizic)?

Întrebarea 6: Dați o notă fiecărui dispozitiv pentru confort, siguranță și stabilitate în utilizare.

Întrebarea 7: Care a fost dispozitivul care a avut cel mai rapid răspuns în întâlnirea unui obstacol?

Întrebarea 8: Faceți o clasificare din toate punctele de vedere, ținând cont de toți parametrii.

C. Structura procedurii experimentale

Protocolul de testare a fost alcătuit din cinci mari etape, desfășurate într-o ordine fixă, identică pentru toți participanții, pentru a asigura comparabilitatea rezultatelor. Fiecare etapă a cuprins un număr stabilit de parcurgeri ale traseului, în următoarea succesiune:

- Mers cu vedere normală (măsurătoare de control) – 3 parcurgeri ale traseului fără dispozitive de ajutor vizual.
- Simulare glaucom fără dispozitive de ajutor vizual – 3 parcurgeri cu ochelari ce simulează disfuncția de tip glaucom.
- Simulare glaucom cu dispozitive de ajutor vizual (4 dispozitive testate) -3 parcurgeri pentru fiecare dispozitiv (12 parcurgeri).
- Simulare cataractă fără dispozitive – 3 parcurgeri cu ochelari ce simulează disfuncția de tip cataractă.
- Simulare cataractă cu dispozitive – 4 dispozitive testate, câte 3 parcurgeri pentru fiecare dispozitiv (12 parcurgeri).

În acest experiment se urmărește determinarea comportamentului subiecților cu disfuncție vizuală pe durata unui ciclu de mers. În total fiecare participant a realizat **33 de parcurgeri** ale traseului, distribuite pe toate condițiile experimentale.

7.2.2. Alegerea eșantionului și instruirea participanților

Eșantionul acestui studiu a inclus 25 de participanți, cu vârste cuprinse între 18 și 69 de ani, greutate corporale între 50 și 110 kg, înălțimi între 148 și 190 cm și numere de încălțăminte cuprinse între 36 și 44, pentru a acoperi o gamă largă de caracteristici demografice și antropometrice. Această diversitate asigură o mai bună reprezentativitate a rezultatelor și permite analizarea influenței variațiilor individuale asupra mersului. Dimensiunea eșantionului este în concordanță cu literatura de specialitate, unde studii similare au utilizat numere comparabile de participanți: Négyesi et al. (2025) au testat 24 de participanți [227], Marigold și Patla (2008) au inclus 20 de participanți [224], iar Jansen et al. (2011) au lucrat cu 12 participanți [225].

Evaluarea de tip anamneză experimentală a participanților

Înainte de inițierea oricărei activități experimentale, s-a realizat o evaluare de tip anamneză a participanților incluși în studiu. Această etapă a avut rolul de a asigura un control al variabilelor individuale și de a elimina potențialele confuzii metodologice.

Au fost selectate persoane adulte, fără antecedente de afecțiuni locomotorii, neurologice sau intervenții chirurgicale oftalmologice. Participanții nu au prezentat tulburări de echilibru, instabilitate posturală sau

deficiențe cognitive care ar fi putut influența capacitatea de a înțelege instrucțiunile sau de a coopera pe durata testării.

Instruirea participanților

După pregătirea preliminară (verificare a condițiilor de mediu și calibrare dispozitive) a spațiului și instrumentelor de testare, participanții au parcurs etapa de instruire, în care s-au familiarizat cu procedurile pentru crearea unui cadru sigur de testare. Această etapă a urmărit asigurarea unei înțelegeri efective și afective a modului de utilizare a ochelarilor de simulare a deficiențelor vizuale (glaucom și cataractă) și a dispozitivelor de asistență senzorială utilizate în cadrul studiului.

Eșantionul de subiecți

Participarea la studiu s-a realizat voluntar, iar fiecare participant a semnat în prealabil un acord de consimțământ informat și protecție a datelor personale (GDPR), conform reglementărilor în vigoare.

Participanții provin din medii ocupaționale variate (optometrist, inginer proiectant, operator PC, consilier, IT-ist etc.), ceea ce a oferit o diversitate de profiluri funcționale utile în validarea practică a rezultatelor. Parametrii antropometrici, precum înălțimea medie 1,72 și greutatea medie corporală 80,3kg au fost înregistrați pentru fiecare subiect, datele fiind ulterior corelate cu rezultatele biomecanice pentru o analiză aprofundată. Toți participanții au prezentat o vedere funcțională bună în condiții normale, unele cazuri necesitând corecții optice (ochelari de vedere), aspect tratat ca factor controlat în analiză.

În vederea caracterizării cât mai complete a contextului în care s-a desfășurat studiul, sunt prezentate în continuare profilurile individuale ale celor nouă participanți. Acestea includ informații demografice, antropometrice și observații legate de participarea la testări, cu scopul de a evidenția diversitatea comportamentelor în funcție de variabilele personale.

Eșantionul de participanți a inclus 25 de subiecți cu vârste cuprinse între 18 și 69 de ani, cu o medie de vârstă de 41,2 ani. Distribuția eterogenă a vârstelor, ilustrată în figura de mai sus, a permis analiza comportamentului locomotor pe un spectru larg de vârstă, incluzând atât tineri adulți, cât și persoane de vârstă mijlocie sau înaintată.

Eșantionul experimental a fost alcătuit din 25 de participanți, dintre care 13 de gen masculin și 12 de gen feminin. Distribuția relativ echilibrată a genurilor oferă un cadru echilibrat pentru analizarea potențialelor diferențe biomecanice între mersul masculin și cel feminin.

Majoritatea participanților (56%) prezentau vicii de refracție, toate corectate cu ochelari, astfel încât nu au influențat măsurătorile. Restul de 44% nu aveau nevoie de corecție optică, având o acuitate vizuală funcțională 1/1. Această distribuție asigură un echilibru al funcției vizuale pentru subiecți și permite o analiză obiectivă a comportamentului locomotor.

Greutatea participanților a variat între 50 kg și 110 kg, cu o medie de 78,6 kg. Acest interval larg contribuie la diversitatea profilurilor biomecanice, influențând distribuția presiunilor plantare, echilibrul și efortul în timpul mersului. Greutatea corporală reprezintă un factor biomecanic important, afectând direct sarcina asupra articulațiilor și determinând posibile adaptări în modelul locomotor.

Înălțimea participanților a fost inclusă ca parametru de bază în analiza profilului antropometric, valorile înregistrate variind între 148 cm și 190 cm, cu o medie de 171,2 cm. Această variabilă influențează semnificativ biomecanica mersului, afectând lungimea pasului, poziția proiecției centrului de greutate,

amplitudinea mișcărilor și echilibrul general. Așa cum se menționează și în literatura de specialitate [228] diversitatea înălțimilor subiecților din eșantion contribuie la extinderea practică a studiului, permițând identificarea unor posibile corelații între statură și răspunsul locomotor în condiții vizuale diferite sau cu dispozitive asistive.

Mărimea încălțămintei participanților a variat între 36 și 44 (conform standard EU), incluzând și valori intermediare precum 39 1/3 sau 41 1/3. Această variabilă antropometrică este relevantă în contextul analizei mersului, deoarece dimensiunea tălpii poate influența modul de contact cu solul, distribuția forței de greutate și stabilitatea în timpul deplasării.

Percentila a fost calculată pe baza raportului greutate–înălțime, oferind o referință relevantă față de populația generală. În eșantionul analizat, valorile centilelor variază între 25 și 97.5, reflectând o diversitate morfologică semnificativă.

7.2.3. Măsurători

7.2.3.1. Verificarea condițiilor de mediu și calibrarea echipamentelor

Pentru a asigura repetabilitatea și acuratețea măsurătorilor, la începutul fiecărei sesiuni experimentale s-au verificat cu rigurozitate condițiile de mediu, în conformitate cu parametrii stabiliți în metodologie.

Au fost monitorizate și menținute în limite controlate următoarele variabile: Temperatura ambientală medie, umiditatea relativă a aerului între 40–60%, presiunea atmosferică în jurul valorii de 760 mmHg, lipsa zgomotelor sau vibrațiilor externe care ar putea influența mersul sau concentrarea participanților

7.2.3.2. Evaluarea inițială a participanților

Înainte de inițierea oricărei activități experimentale, s-a realizat o evaluare atentă a participanților incluși în studiu. Această etapă a avut rolul de a asigura un control riguros al variabilelor individuale și de a elimina potențialele confuzii metodologice.

7.2.3.3. Instruirea participanților

După stabilirea nivelului de referință și verificarea mediului de testare, participanții au intrat în etapa de instruire, care a avut un rol esențial în familiarizarea cu procedurile și în crearea unui cadru sigur de testare. Simularea deficiențelor vizuale a fost realizată prin intermediul unor ochelari special adaptați, care au reprodus câmpuri vizuale îngustate (pentru glaucom) sau vedere încheșată și difuză (pentru cataractă). Participanții au avut posibilitatea de a experimenta mersul cu acești ochelari pe un traseu separat, fără măsurători, pentru a se acomoda cu provocările senzoriale asociate fiecărui tip de simulare.

7.2.3.4. Desfășurarea măsurătorilor

Etapa centrală a studiului a fost reprezentată de realizarea efectivă a măsurătorilor, care au avut loc într-un mediu controlat, cu parametri constanți. Măsurătorile s-au desfășurat într-o singură sesiune per participant, fiind permise pauze la nevoie, pentru a preveni oboseala sau pierderea concentrării.

Testările au fost efectuate în două poziții metodologice majore:

Poziția 1 – Evaluarea cu vedere normală: Participanții au parcurs traseul fără niciun tip de simulare vizuală sau dispozitiv de asistență. Aceasta a reprezentat etapa de control.

Poziția 2 – Evaluarea cu deficiențe vizuale simulate: Participanții au parcurs traseul purtând ochelarii de simulare pentru glaucom și cataractă, atât fără dispozitive, cât și cu fiecare dintre cele patru dispozitive.

Fiecare participant a fost testat în următoarele condiții:

- Simulare glaucom (X) – mers fără dispozitiv (3 repetări)
- Simulare glaucom (X) – mers cu fiecare dintre cele patru dispozitive (A,B,C,D) (4 condiții × 3 repetări = 12 măsurători)
- Simulare cataractă (Y) – mers fără dispozitiv (3 repetări)
- Simulare cataractă (Y) – mers cu fiecare dintre cele patru dispozitive (A,B,C,D) (4 condiții × 3 repetări = 12 măsurători)

În total, fiecare participant a realizat:

3 (control) + 3 (glaucom fără dispozitiv) + 12 (glaucom cu dispozitive) + 3 (cataractă fără dispozitiv) + 12 (cataractă cu dispozitive) = 33 de măsurători.

7.2.4. Rezultate și discuții

7.2.4.1. Rezultatele măsurătorilor biomecanice

A. Simetria pașilor

Între pașii efectuați cu piciorul stâng și drept, simetria, reprezintă un indicator esențial în evaluarea echilibrului și stabilității în mers. Această componentă biomecanică oferă informații relevante despre modul în care deficiențele vizuale sau intervențiile tehnologice pot influența coordonarea motrică.

În prima etapă a studiului, participanții au fost evaluați în condiții de mers normal (MN), fără interferențe vizuale sau utilizarea unor tehnologii de asistență. Asimetria pașilor a fost 0% pentru toți subiecții, ceea ce indică un număr egal de pași efectuați cu fiecare picior. Acest rezultat evidențiază un control postural eficient în condiții de vedere funcțională completă și oferă o bază de referință solidă pentru comparațiile ulterioare.

Cataracta simulată a crescut asimetria medie a mersului la 13,07%, indicând o afectare clară a echilibrului. Glaucomul simulat a generat o asimetrie medie de 12,00%, afectând și el semnificativ mersul față de normal.

Bastonul cu senzori a redus asimetria la 8,34% în cataractă, dar a înregistrat 15,12% în glaucom.

Manșeta a avut o eficiență moderată în cataractă (9,60%), dar scăzută în glaucom (16,57%).

Dispozitivul tridirecțional a crescut asimetria în cataractă la 14,67% și a menținut-o ridicată în glaucom (13,60%).

Sonarul a fost cel mai eficient, cu asimetrii de doar 7,20% în cataractă și 5,60% în glaucom.

B. Timpul de contact a suprafeței plantare pe placa RSScan

S-a evaluat impactul a patru dispozitive de ajutor vizual (baston, manșetă, dispozitiv tridirecțional și sonar) asupra timpului de traversare a unui traseu scurt, înregistrat cu ajutorul plăcii RSScan, în condiții de simulare a cataractei. Timpul, exprimat în secunde, reflectă eficiența comportamentală a mersului în prezența deficienței și a dispozitivului asociat.

Rezultatele au evidențiat o performanță superioară a combinației Cat + Sonar, aceasta fiind asociată cu cel mai scurt timp de parcurgere în cazul a 10 dintre cei 25 de subiecți. Frecvența ridicată sugerează o compatibilitate bună între feedback-ul acustic oferit de sonar și nevoile de orientare în condiții de vedere încețoșată.

- Subiectul S20 a înregistrat o abatere de +20,5% cu sonar, iar S7 a obținut o abatere de 0%, indicând chiar o eficiență similară cu mersul normal.

- Subiecții S3, S4, S5, S6, S8, S13, S15 și S25 au preferat tot sonar, cu abateri între 0% și +27%.
- Cat + Tridirecțional a fost dispozitivul preferat de 7 participanți, printre care S2, cu o abatere minimă de doar +3,8%.
- Cat + Manșetă a fost optim pentru 4 participanți, inclusiv S9, care a avut o abatere redusă de +5%.
- Cat + Baston a fost preferat de alți 4 participanți, dar cu abateri mai mari.

În simularea glaucomului, eficiența dispozitivelor a fost evaluată tot prin raportarea timpului de traversare la mersul normal. Distribuția rezultatelor a fost mai echilibrată decât în cazul cataractei:

- Gl + Sonar a fost alegerea optimă pentru 8 participanți, incluzându-i pe S1, S3, S4, S7, S10, S14, S22 și S24, cu abateri între 0% și +50%.
- Gl + Manșetă a oferit cele mai bune rezultate pentru 7 subiecți, printre care S2 (+8%) și S8 (0%), indicând un răspuns foarte bun la semnalele tactile.
- Gl + Tridirecțional a fost dispozitivul preferat tot de 7 subiecți, precum S5, S6, S9, S13, S16, S17 și S23, cu abateri între 0% și +27%.
- Gl + Baston a fost preferat doar de 3 participanți (ex: S12, S19 și S21), cu rezultate modeste comparativ cu celelalte opțiuni.

C. Forța medie dezvoltată la nivel plantar

Analiza forței aplicate pe piciorul stâng în mersul cu cataractă arată o scădere medie de 1,36% față de mersul normal, cu variații mari între participanți. Unii au înregistrat scăderi semnificative ale forței, în timp ce alții au compensat prin creșteri.

Cataracta simulată a redus forța plantară la majoritatea participanților, 14 din 25 pășind mai ușor decât în mersul normal.

Glaucomul a afectat mai puternic încrederea în mers, 17 participanți reducând semnificativ forța de contact cu solul.

Bastonul a păstrat o forță medie apropiată de normal (scădere de doar 0,47%), dar cu mari variații între participanți.

Manșeta a produs o scădere medie de 4,04% a forței, dar a oferit un efect mai echilibrat și previzibil.

Dispozitivul tridirecțional a redus forța cu 2,10%, dar a avut fluctuații mari în funcție de utilizator.

Sonarul a crescut forța medie cu 3,74%, fiind eficient în cataractă, dar mai puțin eficient în glaucom, unde lipsa vederii periferice a îngreunat orientarea.

D. Traectoria proiectiei centrului de presiune

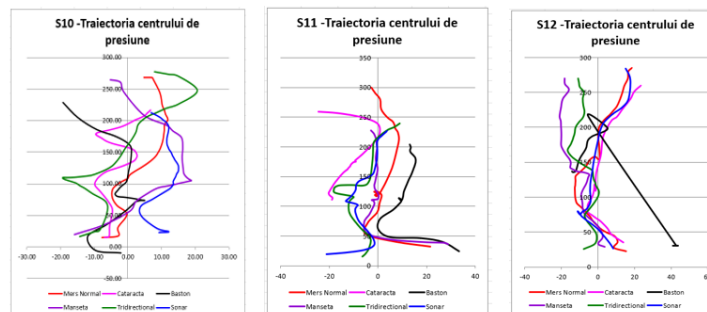


Fig. 7 Traectoriile centrelor de presiune în mers normal, în simularea cataractei și în utilizarea celor 4 dispozitive de ajutor vizual cu simularea cataractei.

Analiza traiectoriilor centrului de presiune a evidențiat diferențe semnificative între mersul în condiții normale și cel realizat sub influența simulării unei afecțiuni vizuale de tip cataractă. Pe baza observațiilor vizuale și a comparării directe a traseelor, participanții au fost clasificați în trei categorii, în funcție de gradul de deviere a traiectoriei față de mersul normal: deviații mari, medii și mici.

Participantul S10 a avut o traiectorie de mers normal (linie roșie) clară, verticală și coerentă, cu o ușoară deviere spre dreapta în partea superioară. Simularea cataractei (roz) a provocat o abatere vizibilă spre stânga, cu o traiectorie mai largă, semn al unei adaptări vizuale incerte. Cu bastonul (negru), mersul a devenit instabil, iar traiectoria s-a curbat semnificativ spre partea stângă, indicând o schimbare de strategie în deplasare. Manșeta (mov) a contribuit la o traiectorie mai scurtă, dar mai centrată, sugerând o mișcare mai prudentă. Traseul cu tridirecționalul (verde) a fost relativ echilibrat în zona mediană, dar cu unele abateri laterale. În schimb, cu sonar (linie albastră), traiectoria a fost mai controlată și bine aliniată pe direcția de deplasare, sugerând o orientare mai eficientă.

Participantul S11 a prezentat o traiectorie normală (roșie) relativ stabilă și bine conturată, cu un mers ușor oblic spre stânga. Sub efectul cataractei (roz), traiectoria s-a distorsionat semnificativ, cu oscilații ample și deplasare laterală. Cu bastonul (negru), traseul a devenit foarte sinuos, cu bucle și întoarceri, ceea ce reflectă o dificultate evidentă de menținere a direcției. Utilizarea manșetei (mov) a adus un plus de stabilitate, traiectoria fiind mai compactă și apropiată de linia verticală. Tridirecționalul (verde) a permis o traiectorie echilibrată, în timp ce sonar (albastru) a produs un traseu clar și paralel cu cel normal, ceea ce sugerează o adaptare bună în orientare și echilibru.

Participantul S12 a urmat în condiție normală (linie roșie) un traseu vertical coerent, cu ușoare oscilații în partea superioară. Sub cataractă (roz), traiectoria a devenit haotică, cu multe schimbări de direcție și instabilitate. Bastonul (negru) a generat o traiectorie complet diferită, cu o deviație bruscă și un traseu aproape în linie dreaptă spre lateral, indicând o lipsă de control direcțional. Cu manșeta (mov), traiectoria a fost mai bine controlată, chiar dacă ușor ondulată. Tridirecționalul (verde) a produs o traiectorie mai centrată, dar cu oscilații în zona de jos, iar sonar (albastru) a permis o traiectorie apropiată de cea normală, ceea ce sugerează o mai bună compensare a deficienței vizuale.

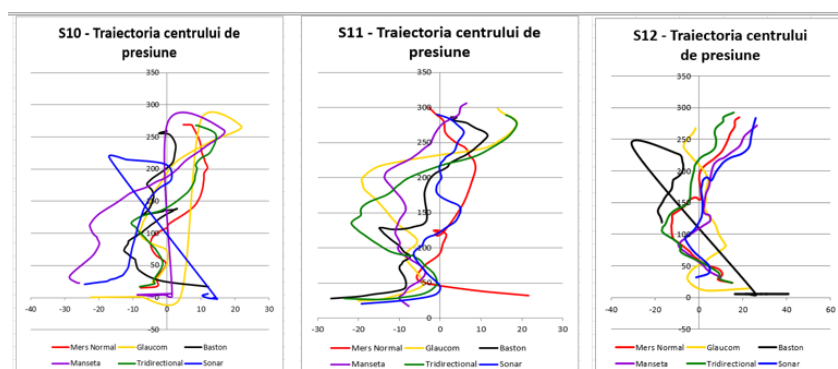


Fig. 8 Traiectoriile centrelor de presiune în mers normal, în simularea glaucomului și în utilizarea celor 4 dispozitive de ajutor vizual cu simularea glaucomului

Pentru subiectul S10, traiectoria centrului de presiune în mersul normal (roșu) este bine centrată, cu o linie echilibrată și simetrică. Odată cu apariția glaucomului (galben), traseul devine marcat de deviații laterale

pronunțate și o lipsă de coerență în direcționare, ceea ce indică un control vizual slab al pașilor. Bastonul (negru) nu aduce o corecție eficientă, ci chiar accentuează oscilațiile, în special în partea mediană a traiectoriei. În schimb, manșeta (mov) și tridirecționalul (verde) contribuie la o stabilizare clară a mersului, iar sonarul (albastru) oferă o traiectorie coerentă și apropiată de cea inițială, redând direcția și echilibrul mersului.

În cazul subiectului S11, mersul normal (roșu) prezintă o traiectorie ordonată și simetrică. Glaucomul (galben) perturbă semnificativ traseul, creând o linie contorsionată și lateral extinsă, semn al pierderii încrederii în orientarea în spațiu. Bastonul (negru) înrăutățește situația, generând o traiectorie fragmentată și imprevizibilă. Din contră, manșeta (mov) asigură un traseu centralizat și progresiv, tridirecționalul (verde) păstrează o bună continuitate, iar sonarul (albastru) oferă una dintre cele mai apropiate traiectorii față de mersul normal, dovedind o eficiență funcțională ridicată.

Pentru subiectul S12, traiectoria în mers normal (roșu) este lungă, continuă și relativ bine centrată. În prezența glaucomului (galben), traiectoria devine haotică, cu întreruperi și schimbări bruște de direcție, sugerând o afectare semnificativă a controlului spațial. Bastonul (negru) produce o traiectorie puternic deviată și abruptă, cu o direcție neclară. Manșeta (mov) oferă o traiectorie curbată dar controlată, tridirecționalul (verde) menține o direcție relativ stabilă, iar sonarul (albastru) tinde să reconstituie o linie ordonată, apropiată de cea roșie, demonstrând utilitatea practică în orientare.

E. Scorul Tinetti

Scor maxim:12. Scorurile Tinetti obținute de cei 25 participanți indică variații semnificative în funcție de condiția vizuală și utilizarea dispozitivelor de ajutor vizual.

Simularea cataractei a dus la scăderea evidentă a scorurilor Tinetti, cu valori între 3 și 8. Aceste scoruri se încadrează preponderent în categoriile roșu și portocaliu, ceea ce indică o afectare semnificativă a stabilității și siguranței mersului. Participanții S1, S2, S5, S6, S10 și S11 au înregistrat cele mai mici scoruri (3–5), semnalând un impact sever al vederii încețoșate asupra mersului.

În glaucom, scorurile Tinetti s-au situat într-un interval ușor superior (4–8), cu prezență predominantă în zona portocalie, indicând dificultăți moderate dar ușor mai bine gestionate comparativ cu simularea cataractei.

Dintre cele patru dispozitive testate, sonarul a fost asociat cu cele mai mari scoruri Tinetti (între 10 și 12) în cazul a 17 participanți, ceea ce sugerează o eficiență superioară în compensarea instabilității cauzate de cataractă. Dispozitivul tridirecțional a fost asociat cu rezultate bune (peste 10) în 7 cazuri, manșeta în 3 cazuri, iar bastonul doar în 3 cazuri. Aceste rezultate indică o variație semnificativă a performanțelor în funcție de dispozitiv, dar și de particularitățile individuale ale mersului.

În cazul glaucomului, sonarul a condus la cele mai bune scoruri pentru un număr de 21 participanți, indicând o performanță constant bună. Manșeta și dispozitivul tridirecțional au fost fiecare asociate cu scoruri maxime în 5 cazuri respectiv 2 cazuri, în timp ce bastonul nu a înregistrat nici un scor peste 10. Acest model de distribuție evidențiază din nou eficiența sonarului, dar și faptul că dispozitivele nu funcționează uniform pentru toți utilizatorii.

F. Abaterile față de mersul normal.

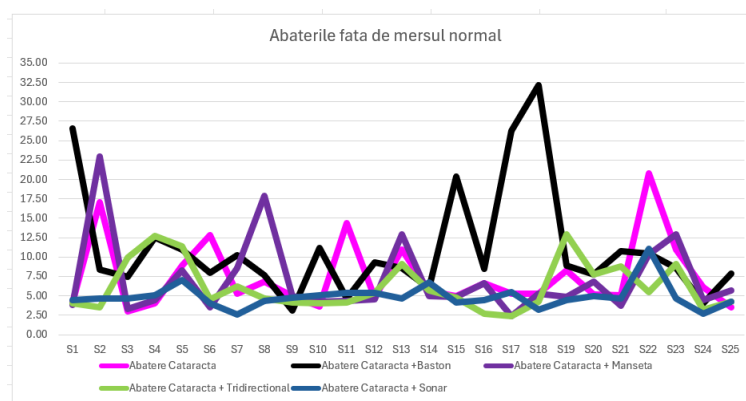


Fig. 9 Abaterile medii față de mersul normal în condiții de cataractă simulată, cu și fără dispozitive de asistență

Bastonul a crescut abaterea medie la 8,43%, cu 41,4% mai mult decât fără dispozitiv, agravând stabilitatea mersului. Manșeta a generat o abatere de 6,64%, cu 11,4% mai mare decât în mersul neasistat, indicând eficiență scăzută. Dispozitivul tridirecțional a redus abaterea la 6,14%, cu 3,8% sub nivelul fără dispozitiv, oferind o ușoară îmbunătățire. Sonarul a înregistrat cea mai mică abatere, de 4,38%, cu 26,5% mai mică decât în mersul fără asistență.

Doar sonarul a reușit să stabilizeze semnificativ mersul în cataractă, reducând oscilațiile laterale.

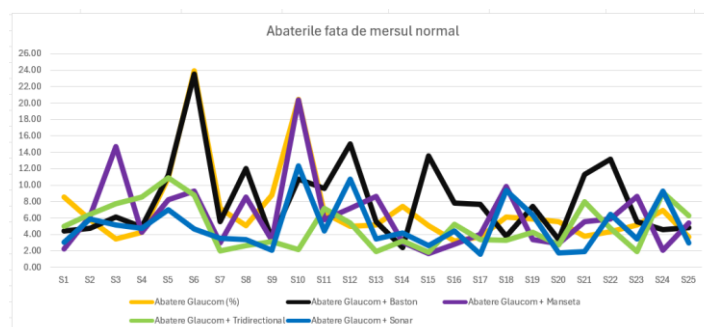


Fig. 10 Abaterile medii față de mersul normal în condiții de glaucom simulat, cu și fără dispozitive de asistență

Bastonul a avut o abatere medie de 8,43%, aproape identică cu mersul fără dispozitiv (8,66%), fără efect de corectare. Manșeta a redus abaterea la 6,64%, oferind o îmbunătățire de 23,4% față de mersul neasistat. Dispozitivul tridirecțional a scăzut deviația laterală la 6,14%, cu 29,1% mai puțin decât fără dispozitiv. Sonarul a redus abaterea la 4,38%, cu o îmbunătățire semnificativă de 49,4% față de mersul fără sprijin. Dintre toate dispozitivele, doar sonar a adus o schimbare constantă și substanțială în stabilitatea mersului.

7.2.4.2. Rezultatele chestionarului

Întrebarea nr 1: Cât vă afectează disfuncția vizuală?

Media scorurilor pentru cataractă a fost de 8,88, în timp ce media pentru glaucom a fost de 6,52, ceea ce sugerează că participanții au resimțit cataracta ca fiind o afecțiune semnificativ mai restrictivă din punct de vedere vizual decât glaucomul.

Întrebarea nr 2: Cât vă afectează funcția vizuală în mobilitate?

Media scorurilor pentru cataractă a fost de 9,12, iar pentru glaucom de 6,84, ceea ce indică faptul că participanții au perceput cataracta ca având un impact semnificativ mai sever asupra orientării și deplasării în spațiu.

Întrebarea nr 3: Care parte a corpului a fost mai solicitată pe durata înregistrărilor?

. În cazul simulării cataractei, cele mai frecvent raportate zone solicitate au fost capul (48%) și trunchiul (24%), urmate de picioare (24%), iar un singur participant (4%) a indicat mâinile.

În schimb, în cazul simulării glaucomului, răspunsurile s-au concentrat și mai puternic asupra capului, care a fost indicat de 68% dintre participanți (17 din 25). Doar 16% (4 persoane) au indicat picioarele, alte 16% (4 persoane) — trunchiul, iar mâinile nu au fost menționate deloc.

Întrebarea nr 4: Care a fost cel mai UȘOR de montat?

Răspunsurile participanților referitoare la ușurința de montare a dispozitivelor de asistență indică în mod clar o preferință majoritară pentru dispozitivul Sonar, urmat de manșetă, în timp ce dispozitivul tridirecțional a fost perceput ca cel mai dificil de instalat.

Sonarul a fost plasat pe locul 1 (cel mai ușor de montat) de 14 participanți din 25 (56%) și pe locul 2 de alți 7 participanți (28%). Niciun participant nu l-a evaluat drept cel mai greu de montat

Manșeta a fost, de asemenea, bine apreciată, obținând 11 mențiuni pentru locul 1 (44%) și alte 11 pentru locul 2.

Întrebarea nr 5: Care a fost dispozitivul cel mai Greu (fizic)? (Greutate mai mare în purtare)

Sonarul a fost perceput ca cel mai ușor dispozitiv în mod constant. A fost clasat pe locul 1 (cel mai ușor) de 16 participanți (64%) și pe locul 2 de alți 7 participanți. Doar o singură persoană l-a plasat pe locul 3, iar una pe locul 4, ceea ce indică o percepție aproape unanimă a portabilității excelente.

Manșeta a ocupat un loc secund în percepția pozitivă privind greutatea. A fost clasată de 8 participanți (32%) pe primul loc și de 16 (64%) pe locul 2.

Întrebarea nr 6: Dați o notă fiecărui dispozitiv de la 1 la 10 pentru confortul, siguranța și stabilitatea în utilizare.

Sonarul a fost din nou cel mai bine evaluat dispozitiv, cu o medie de 8,68 și abatere standard redusă ($\sim \pm 0,64$), indicând o percepție stabilă și constant pozitivă. Majoritatea participanților i-au acordat note între 8 și 10, ceea ce evidențiază un nivel ridicat de încredere în acest dispozitiv din perspectiva confortului în purtare și a siguranței percepute în utilizare.

Dispozitivul tridirecțional a ocupat poziția a doua în clasament, cu o medie de 7,04, dar cu o abatere standard moderată ($\sim \pm 0,93$).

Întrebarea nr 7: Care a fost dispozitivul care a avut cel mai rapid răspuns în întâlnirea unui obstacol?

Sonarul a fost, din nou, cel mai bine evaluat dispozitiv, cu o medie de 9,12 și abatere standard scăzută ($\sim \pm 0,80$). Majoritatea participanților i-au acordat scoruri între 8 și 10, ceea ce indică o percepție generală clar pozitivă privind rapiditatea reacției.

Dispozitivul tridirecțional a ocupat poziția secundă, cu o medie de 7,52 și abatere standard moderată ($\sim \pm 0,95$).

Întrebarea nr 8: Faceți o clasificare din toate punctele de vedere, ținând cont de toți parametrii.

Sonarul se remarcă net ca fiind dispozitivul cel mai apreciat în utilizarea generală. A fost plasat pe locul 1 (cel mai bun) de către 72% dintre participanți (18 din 25) și pe locul 2 de ceilalți 28% (7 din 25).

Manșeta ocupă locul secund în clasamentul general. A fost considerată cel mai bun dispozitiv de către 6 participanți (24%) și a obținut locul 2 în alte 6 cazuri (24%), însă distribuția evaluărilor a fost mai dispersată comparativ cu Sonarul.

7.2.4.3. 7.2.4.3. **RELAȚIA CONFORTULUI ÎN MERS - Subiectivă**

Conceperea și implementarea relației de determinare a stării de confort pe durata ciclului de mers

Având în vedere parametrii obținuți de mai sus, nivelurile de variație ale acestora, ponderea acestora în determinarea comportamentului pe durata ciclului de mers s-a stabilit următoarea relație:

$$SCM_S = 100 * [\alpha * \left(1 - \left|\frac{T_i - T_{ref}}{T_{ref}}\right|\right) + \beta * \left(1 - \left|\frac{F_i - F_{ref}}{F_{ref}}\right|\right) + \delta * \left(\frac{S_i}{100}\right) + \varepsilon * \left(\frac{ST_i}{12}\right) + \theta * \left(1 - \frac{SSC - 1}{3}\right)] \quad (36)$$

SCM_S – Scor Confort Mers - Subiectiv

T_i – timpul de contact cu placa RSScan în condiția analizată (ms).

T_{ref} – timpul de contact de referință din mersul normal pentru același subiect (ms).

F_i – forța maximă dezvoltată la nivel plantar în condiția analizată (N).

F_{ref} – forța maximă la nivel plantar în mersul normal (N).

S_i – simetria pașilor față de mersul normal (în %, unde 0% simetrie perfectă, 100% asimetrie).

ST_i – scorul Tinetti pentru mers, între 0 și 12 puncte.

SSC – scorul subiectiv de confort (1 = cel mai ușor, 4 = cel mai dificil).

Ponderi: α - 0.3, β - 0.25, δ - 0.2, ε - 0.15, θ - 0.10.

Pentru definirea indicatorului Scor de Confort al Mersului subiectiv (SCM_S) au fost selectați cinci factori fundamentali, validați în literatura de specialitate. Astfel, timpul de contact plantar (T_i) reprezintă un parametru esențial al stabilității și ritmului mersului, fiind utilizat în studii asupra încălțămintei și corelat cu percepția de confort.[229] Forța maximă dezvoltată la nivel plantar (F_i) reflectă modul de încărcare a suprafeței plantare și este asociată direct cu senzația de confort în ciclul de mers. [230] Simetria pașilor (S_i) are o valoare funcțională ridicată, întrucât asimetria este asociată cu efort crescut și cu risc de dezechilibru, iar literatura confirmă legătura dintre simetria mersului și confortul perceput.[231] Scorul clinic Tinetti pentru mers (ST_i) este un instrument validat de evaluare a stabilității funcționale, utilizat pe scară largă în geriatrie și reabilitare, având o bună corelație cu calitatea mersului și riscul de cădere.[232] Scorul subiectiv de confort (SSC) reflectă percepția individuală asupra efortului și comodității mersului; acesta este evaluat în multiple studii privind încălțămintea și suportul locomotor,[233], [234] confirmând relevanța componentelor auto-raportate în analiza globală a mersului. Astfel, ponderile alese (α =0,30; β =0,25; δ =0,20; ε =0,15; θ =0,10) reflectă importanța descrescătoare de la parametrii obiectivi, la scorurile utilizate în studii clinice și la percepția subiectivă.

Subiectul S1 a înregistrat un scor de referință de 100% în condiții de mers normal. În prezența simulării de cataractă, performanța sa a scăzut la 44%, ceea ce indică o afectare vizibilă a confortului în mers. Odată cu utilizarea dispozitivelor de asistență, performanțele au variat: cu Bastonul, scorul a fost de 39.6%, cu Manșeta 58.9%, cu dispozitivul Tridirecțional 49.7%, iar cu Sonarul 59.2%. În cazul glaucomului simulat,

scorul a fost de 29.7%. Utilizarea dispozitivelor a îmbunătățit rezultatele astfel: Baston 41.2%, manșetă 46.4%, Tridirecțional 50.3%, iar Sonar 62.0%.

Subiectul S2 a înregistrat un scor de referință de 100% în condiții de mers normal. În prezența simulării de cataractă, performanța sa a scăzut la 54.5%, ceea ce indică o afectare vizibilă a confortului în mers. Odată cu utilizarea dispozitivelor de asistență, performanțele au variat: cu Bastonul, scorul a fost de 53.5%, cu Manșeta 64.7%, cu dispozitivul Tridirecțional 85.4%, iar cu Sonarul 87.2%. În cazul glaucomului simulat, scorul a fost de 64.9%. Utilizarea dispozitivelor a îmbunătățit rezultatele astfel: Baston 43.2%, manșetă 89.3%, Tridirecțional 59.3%, iar Sonar 82.9%.

Subiectul S3 a înregistrat un scor de referință de 100% în condiții de mers normal. În prezența simulării de cataractă, performanța sa a scăzut la 63.4%, ceea ce indică o afectare vizibilă a confortului în mers. Odată cu utilizarea dispozitivelor de asistență, performanțele au variat: cu Bastonul, scorul a fost de 48.8%, cu Manșeta 66.8%, cu dispozitivul Tridirecțional 73.8%, iar cu Sonarul 83.6%. În cazul glaucomului simulat, scorul a fost de 80.5%. Utilizarea dispozitivelor a îmbunătățit rezultatele astfel: Baston 49.9%, manșetă 56.1%, Tridirecțional 72.1%, iar Sonar 94.5%.

Subiectul S4 a înregistrat un scor de referință de 100% în condiții de mers normal. În prezența simulării de cataractă, performanța sa a scăzut la 82.1%, ceea ce indică o afectare mai redusă, dar prezentă. Cu Bastonul, scorul a fost de 55.1%, cu Manșeta 75.5%, cu dispozitivul Tridirecțional 48.6%, iar cu Sonarul 92.4%. În cazul glaucomului, scorul a fost de 70.6%, iar utilizarea dispozitivelor a dus la următoarele valori: Baston 64.8%, manșetă 74.8%, Tridirecțional 74.2%, și Sonar 92.6%.

Subiectul S5 a avut un scor de 100% în mersul normal, dar cataracta simulată a redus drastic performanța la 35.1%. Dispozitivele au adus îmbunătățiri în felul următor: Baston 40.6%, manșetă 51.8%, Tridirecțional 43.0%, iar Sonar 91.1%, ceea ce indică o eficiență remarcabilă a acestuia din urmă. În glaucom, scorul fără ajutor a fost 34.3%. Cu dispozitivele, valorile au fost: Baston 36.7%, manșetă 46.5%, Tridirecțional 72.3%, și Sonar 66.9%.

Subiectul S6 a pornit de la un scor de 100% în condiții de mers normal. Sub efectul cataractei simulate, scorul a scăzut la 60.7%, semnalând un disconfort moderat. Dispozitivele de asistență au avut următoarele rezultate: Baston 44.4%, manșetă 47.3%, Tridirecțional 55.7%, iar Sonar 82.3%, acesta din urmă oferind un sprijin considerabil. În glaucom, scorul inițial a fost 59.4%, iar dispozitivele au îmbunătățit rezultatele în felul următor: Baston 43.3%, manșetă 52.8%, Tridirecțional 79.1%, și Sonar 79.8%.

Subiectul S7 a avut o performanță de 100% în mers normal, dar sub influența cataractei scorul a scăzut la 52.4%. Cu Bastonul, rezultatul a crescut la 62.8%, cu Manșeta la 71.1%, cu dispozitivul Tridirecțional la 79.8%, iar cu Sonarul la un remarcabil 96.9%. În condiții de glaucom, scorul inițial a fost 69.3%, iar dispozitivele au avut următoarele efecte: Baston 48.5%, manșetă 68.6%, Tridirecțional 79.9%, și Sonar 88.6%.

Subiectul S8 a avut o performanță de bază de 100%. Cataracta a redus scorul la 70.9%, iar dispozitivele au generat următoarele rezultate: Baston 64.7%, manșetă 65.2%, Tridirecțional 70.5%, și Sonar 88.5%. În glaucom, scorul de mers fără dispozitive a fost 56.1%. Cu Bastonul, performanța a crescut la 51.0%, cu Manșeta a scăzut ușor la 46.6%, în timp ce cu Tridirecționalul a ajuns la 74.7%, iar cu Sonarul la 89.7%.

Subiectul S9 a avut un mers normal la 100%. În prezența cataractei, performanța a scăzut la 59.9%, iar cu Bastonul a fost 58.2%, cu Manșeta 70.5%, cu Tridirecționalul 67.1%, și cu Sonarul 71.4%. În cazul

glaucomului, scorul inițial a fost 68.7%. Cu Bastonul a crescut la 61.8%, cu Manșeta la 75.1%, cu Tridirecționalul la 74.0%, iar cu Sonarul la 96.4%.

Subiectul S10 a avut un scor de 100% în mersul normal. Simularea cataractei a dus la o scădere la 51.1%, iar dispozitivele au avut următorul impact: Baston 54.3%, manșetă 69.2%, Tridirecțional 68.9%, și Sonar 89.6%. În glaucom, scorul fără ajutor a fost 58.0%. Dispozitivele au produs următoarele rezultate: Baston 34.2%, manșetă 57.1%, Tridirecțional 71.1%, și Sonar 72.8%.

Subiectul S11 a avut un scor de 100% în mersul normal. Cataracta i-a redus performanța la 40.4%, un impact puternic. Cu Bastonul, scorul a fost de 33.8%, cu Manșeta 72.1%, cu Tridirecționalul 82.2%, iar cu Sonarul 87.7%. În glaucom, scorul fără dispozitiv a fost 66.3%. Cu Bastonul, subiectul a atins 46.2%, cu Manșeta 85.7%, cu Tridirecționalul 66.8%, și cu Sonarul 89.3%.

Subiectul S12 a plecat de la un scor normal de 100%. Sub cataractă, a obținut 64.6%. Cu Bastonul: 55.2%, cu Manșeta 80.3%, cu Tridirecționalul 77.2%, iar cu Sonarul 84.2%. În glaucom, scorul a fost 73.2%. Performanțele cu dispozitive au fost: Baston 47.6%, manșetă 80.4%, Tridirecțional 83.2%, Sonar 89.1%.

Subiectul S13 a avut 100% în mersul normal. Cataracta a redus scorul la 53.7%, iar Bastonul l-a menținut la 49.0%. Manșeta a crescut scorul la 67.0%, Tridirecționalul la 60.4%, iar Sonarul a ajuns la 91.5%. În glaucom, scorul de bază a fost 72.9%. Cu Bastonul, performanța a fost 42.3%, cu Manșeta 67.2%, cu Tridirecționalul 79.6%, iar cu Sonarul 90.7%.

Subiectul S14 a avut un scor inițial de 100%. Cu cataractă, performanța a fost 53.8%. Bastonul a dus scorul la 49.6%, Manșeta la 60.5%, Tridirecționalul la 83.3%, iar Sonarul la 89.8%. În glaucom, scorul a fost 70.7%. Cu Bastonul: 69.3%, cu Manșeta 60.2%, cu Tridirecționalul 83.3%, cu Sonarul 90.6%.

Subiectul S15 a început cu 100% în mers normal. Cataracta a redus scorul la 67.1%. Cu Bastonul, performanța a fost 53.0%, cu Manșeta 38.7%, cu Tridirecționalul 48.4%, iar cu Sonarul 86.5%. În glaucom, scorul inițial a fost 44.5%. Cu Bastonul, rezultatul a fost 45.6%, cu Manșeta 52.8%, cu Tridirecționalul 72.1%, și cu Sonarul 83.9%.

Subiectul S16 a avut un scor de 100% la mersul normal. Sub cataractă, a obținut 63.7%. Cu Bastonul: 65.5%, Manșeta 81.9%, Tridirecționalul 74.6%, iar Sonarul 81.8%. În glaucom, performanța de bază a fost 70.0%. Cu Bastonul a atins 52.8%, cu Manșeta 74.6%, cu Tridirecționalul 72.4%, iar cu Sonarul 91.0%.

Subiectul S17 a pornit de la 100% și a scăzut la 63.1% sub cataractă. Cu Bastonul: 79.1%, cu Manșeta 68.7%, cu Tridirecționalul 66.2%, iar cu Sonarul 89.8%. În glaucom, scorul fără dispozitiv a fost 46.2%. Cu Bastonul a obținut 51.2%, cu Manșeta 74.1%, cu Tridirecționalul 69.0%, și cu Sonarul 87.9%.

Subiectul S18 a avut 100% în mod normal. Cataracta a redus scorul la 62.7%. Cu Bastonul a fost 71.8%, cu Manșeta 74.5%, cu Tridirecționalul 68.0%, și cu Sonarul 93.4%. În glaucom, scorul de bază a fost 49.0%. Cu Bastonul: 56.6%, cu Manșeta 79.9%, cu Tridirecționalul 68.2%, iar cu Sonarul 96.3%.

Subiectul S19 a pornit de la 100%, a scăzut la 55.0% sub cataractă. Cu Bastonul: 55.4%, cu Manșeta 64.7%, cu Tridirecționalul 69.5%, cu Sonarul 77.5%. În glaucom, scorul inițial a fost 68.8%. Cu Bastonul 45.3%, cu Manșeta 58.0%, cu Tridirecționalul 64.2%, iar cu Sonarul 94.2%.

Subiectul S20 a avut un scor de 100% la început. Sub cataractă a obținut 61.3%, cu Bastonul 38.8%, cu Manșeta 43.3%, cu Tridirecționalul 31.3%, iar cu Sonarul 86.5%. În glaucom, scorul fără ajutor a fost 69.2%. Cu Bastonul: 79.8%, cu Manșeta 66.8%, cu Tridirecționalul 79.1%, iar cu Sonarul 88.3%.

Subiectul S21 a avut o performanță de 100% în mersul normal. Cataracta a redus scorul la 82.6%, iar cu Bastonul a fost 50.4%, cu Manșeta 49.6%, cu Tridirecționalul 71.6%, și cu Sonarul 93.1%. În glaucom, scorul inițial a fost 78.0%. Cu Bastonul: 67.2%, cu Manșeta 78.3%, cu Tridirecționalul 75.7%, cu Sonarul 95.9%.

Subiectul S22 a avut un scor de 100% în condiții normale. Cataracta a dus la o scădere la 53.9%. Cu Bastonul: 52.5%, cu Manșeta 82.0%, cu Tridirecționalul 57.1%, iar cu Sonarul 88.8%. În glaucom, performanța a fost de 78.3%. Cu Bastonul 44.0%, cu Manșeta 74.2%, cu Tridirecționalul 68.2%, cu Sonarul 86.8%.

Subiectul S23 a avut un scor de 100% în mersul normal. Cataracta i-a redus performanța la 51.7%. Cu Bastonul: 43.8%, cu Manșeta 67.0%, cu Tridirecționalul 64.0%, și cu Sonarul 95.7%. În glaucom, scorul a fost de 71.2%. Cu Bastonul: 35.8%, cu Manșeta 60.5%, cu Tridirecționalul 83.6%, cu Sonarul 92.3%.

Subiectul S24 a avut 100% în mersul normal. Cataracta a dus scorul la 49.0%. Cu Bastonul: 77.1%, cu Manșeta 70.2%, cu Tridirecționalul 84.4%, și cu Sonarul 82.8%. În glaucom, scorul de bază a fost 60.8%. Cu Bastonul: 56.9%, cu Manșeta 68.2%, cu Tridirecționalul 75.3%, și cu Sonarul 80.2%.

Subiectul S25 a avut o performanță de 100%. Sub cataractă, scorul a fost 56.6%. Cu Bastonul: 47.4%, cu Manșeta 55.3%, cu Tridirecționalul 68.6%, iar cu Sonarul 87.1%. În glaucom, scorul inițial a fost 81.7%. Cu Bastonul 29.5%, cu Manșeta 65.6%, cu Tridirecționalul 80.2%, și cu Sonarul 95.5%.

7.2.4.3. RELAȚIA CONFORTULUI ÎN MERS – Obiectivă

Pentru a elimina influența chestionarului subiectiv și a obține un indicator strict obiectiv al confortului în mers, am redistribuit ponderea corespunzătoare scorului subiectiv de confort către ceilalți patru parametri măsurați (timp de contact plantar cu placa RSSCAN, forță maximă dezvoltată la nivel plantar, simetria pașilor și scorul Tinetti pentru mers), menținând suma ponderilor egală cu 1, astfel încât formula să se bazeze exclusiv pe criterii cuantificabile și instrumente validate.

$$SCM_o = 100 * [\alpha * \left(1 - \left|\frac{T_i - T_{ref}}{T_{ref}}\right|\right) + \beta * \left(1 - \left|\frac{F_i - F_{ref}}{F_{ref}}\right|\right) + \delta * \left(\frac{S_i}{100}\right) + \varepsilon * \left(\frac{ST_i}{12}\right)] \quad (37)$$

SCM_o – Scor Confort Mers - Obiectiv

T_i– timpul de contact cu placa RSScan în condiția analizată (ms).

T_{ref}– timpul de contact de referință din mersul normal pentru același subiect (ms).

F_i– forța maximă dezvoltată la nivel plantar în condiția analizată (N).

F_{ref}– forța maximă la nivel plantar în mersul normal (N).

S_i– simetria pașilor față de mersul normal (în %, unde 0% simetrie perfectă, 100% asimetrie).

ST_i– scorul Tinetti pentru mers, între 0 și 12 puncte.

Ponderi: α - 0.3, β - 0.3, δ - 0.2, ε - 0.2.

La nivel global, se observă diferențe între scorurile de confort calculate cu factorul subiectiv și cele bazate exclusiv pe date obiective. Valorile cu factor subiectiv sunt de regulă mai ridicate pentru unele condiții și dispozitive, însă tendința generală se menține în ambele seturi: mersul cu glaucom are un impact mai sever decât mersul cu cataractă, iar utilizarea dispozitivelor crește scorul de confort, cu variații în funcție de tipul lor.

Sonarul se remarcă în mod constant ca cel mai performant dispozitiv, având scoruri ridicate și stabile în ambele seturi de date, apropiate de nivelul mersului normal și frecvent peste 90%, indiferent de tipul deficienței vizuale. Această consistență confirmă rolul său ca cea mai eficientă soluție dintre dispozitivele testate.

7.2.5. Concluzii

Concluzii ale testării preliminare: Testarea preliminară a permis analiza comparativă a influenței diverselor deficiențe vizuale simulate asupra parametrilor biomecanici ai mersului. Toate condițiile de simulare au generat adaptări posturale vizibile, însă cu amplitudini diferite. Dintre acestea, cataracta și glaucomul au determinat cele mai semnificative modificări, manifestate prin prelungirea duratei pasului, creșterea presiunii plantare și variații ale distribuției forței pe suprafața de sprijin. În cazul cataractei s-a remarcat o tendință accentuată de menținere prelungită a contactului cu solul, reflectând nesiguranța generată de afectarea vederii centrale, în timp ce glaucomul a evidențiat încărcări suplimentare pe zonele laterale ale suprafeței plantare, ca urmare a restricției câmpului vizual periferic.

Pe baza acestor constatări obiective, cataracta și glaucomul au fost selectate ca principalele condiții de simulare pentru continuarea experimentelor din studiul extins.

Concluzii rezultate simetria pașilor: Deficiențele vizuale simulate influențează în mod semnificativ simetria pașilor, generând dezechilibre evidente la unii participanți. Introducerea dispozitivelor de ajutor vizual contribuie parțial la corectarea acestui dezechilibru, dar eficiența variază. Sonarul s-a dovedit a fi cel mai eficient dispozitiv testat, cu cele mai mici valori medii de asimetrie în ambele tipuri de deficiență. Aceste rezultate sprijină utilizarea tehnologiilor de asistență vizuală în mobilitatea asistată a persoanelor cu deficiențe vizuale, cu mențiunea că adaptarea individuală rămâne un factor esențial în succesul funcțional al acestor soluții.

Concluzii privind timpul petrecut pe placa RSScan: Analiza timpului petrecut de participanți pe placa RSScan a oferit informații valoroase privind eficiența mersului în condiții de deficiență vizuală simulate (cataractă și glaucom), precum și eficiența fiecărui dispozitiv de asistență testat. Timpul de traversare, exprimat în secunde, a fost utilizat ca indicator obiectiv al comportamentului de mers adaptativ și al nivelului de confort în orientare.

În condițiile de cataractă, analiza timpilor de traversare arată că Sonarul a condus la cele mai bune performanțe temporale la 12 dintre cei 25 de participanți. În mai multe cazuri, timpul de traversare cu Sonar s-a apropiat sau chiar a fost mai mic decât în condiții normale de mers, sugerând o mobilizare cognitivă superioară sau un grad mai mare de concentrare generat de feedback-ul senzorial suplimentar.

Totodată, în cazul subiecților S22 și S25, performanțele cu Sonar au fost chiar mai bune decât în mersul normal, indicând o posibilă compensare activă a deficitului vizual cu ajutorul semnalelor acustice direcționale. Subiectul S22, de exemplu, a înregistrat un timp de doar 1.95 s cu Sonar, comparativ cu 2.40 s cu cataractă simplă și 1.85 s în mers normal, ceea ce evidențiază o adaptare eficientă la semnalul auditiv. Per ansamblu, Sonarul s-a remarcat ca fiind cel mai constant performant dintre toate dispozitivele testate în contextul cataractei.

În schimb, pentru glaucom, distribuția preferințelor s-a dovedit mai eterogenă. Deși Sonarul a oferit cele mai bune rezultate temporale la 11 participanți, alte dispozitive au fost mai eficiente pentru anumiți

subiecți. De exemplu, manșeta a condus la cele mai bune performanțe la S2, S6, S10 și S17, sugerând că feedback-ul tactil prin vibrații este eficient în condiții de câmp vizual tubular, caracteristic glaucomului, oferind informații de proximitate utile pentru navigație laterală.

Concluzii privind forța medie dezvoltată la nivel plantar: Analiza forței medii dezvoltate la nivel plantar în cadrul acestui studiu a evidențiat diferențe importante atât între cele două tipuri de deficiențe vizuale simulate, cât și între dispozitivele de asistență utilizate.

În condițiile de cataractă simulată, caracterizate prin afectarea vederii centrale, analiza forței plantare a indicat că Sonarul a oferit cele mai bune performanțe la un număr semnificativ de participanți. Mai exact, 7 dintre cei 25 de participanți au înregistrat cele mai mari valori ale forței plantare cu ajutorul Sonarului, ceea ce sugerează că feedback-ul acustic direcțional a fost bine integrat în controlul mersului, oferind încredere și stabilitate în timpul deplasării.

Bastonul a fost cel mai eficient pentru alți 7 participanți, indicând că sprijinul fizic suplimentar și contactul direct cu solul au oferit un avantaj clar în cazul cataractei, mai ales pentru subiecții care par să fi compensat deficiența vizuală prin mecanisme proprioceptive.

Dispozitivul tridirecțional s-a dovedit cel mai eficient pentru 2 participanți, ceea ce evidențiază că integrarea semnalelor din mai multe planuri poate contribui la un control mai fin al mersului, mai ales în cazuri particulare.

Manșeta, pe de altă parte, nu a fost soluția optimă pentru niciun participant în contextul cataractei simulate. Totuși, ea a furnizat valori relativ apropiate de cele optime în majoritatea cazurilor, sugerând o stabilitate funcțională, chiar dacă nu o performanță maximă.

În simularea de glaucom, unde pierderea câmpului vizual periferic este principalul obstacol, distribuția preferințelor s-a schimbat semnificativ. Manșeta a oferit cele mai bune performanțe la 6 participanți, demonstrând că feedback-ul tactil aplicat pe antebraț este eficient în compensarea lipsei de informație laterală.

Sonarul a fost cel mai performant la 6 participanți, ceea ce indică faptul că în unele cazuri, informația auditivă continuă să fie relevantă și în absența vederii periferice, în special pentru subiecții cu o bună capacitate de orientare auditivă.

Tridirecționalul a fost optim pentru 3 participanți, ceea ce arată că combinarea mai multor niveluri de avertizare spațială contribuie la îmbunătățirea controlului în spațiul tridimensional, un aspect critic în condiții de vedere tubulară.

Bastonul a reprezentat soluția optimă pentru 4 participanți, sugerând că în anumite cazuri, sprijinul fizic direct rămâne esențial pentru menținerea unei forțe plantare stabile, chiar și în absența unor semnale vizuale laterale.

Concluzii privind traiectoria centrului de presiune

În simularea cataractei, s-a observat o tendință generală de pierdere a coerenței traiectoriei, în special la participanții cu o capacitate senzorio-motorie mai scăzută. Dintre cele patru dispozitive testate, sonarul s-a dovedit a fi cel mai eficient, reușind să genereze traiectorii apropiate de cele normale la 12 participanți din 25, ceea ce sugerează o integrare eficientă a feedbackului auditiv direcțional în condiții de vedere centrală încetoșată. Manșeta și dispozitivul tridirecțional au oferit rezultate comparabile (fiecare cu câte 9

participanți având deviații mici), în timp ce bastonul a fost eficient la un număr mai redus (8 participanți), indicând o eficiență variabilă a sprijinului fizic în absența informației vizuale clare.

În simularea glaucomului, caracterizată prin pierderea câmpului vizual periferic, sonarul a avut din nou cea mai ridicată eficiență, cu 13 participanți care au menținut traiectorii stabile și coerente. Dispozitivul tridirecțional s-a remarcat pozitiv, generând traiectorii apropiate de mersul normal la 10 participanți, ceea ce sugerează că distribuția semnalelor din mai multe direcții poate compensa eficient lipsa de informație periferică. Manșeta a fost eficientă pentru 9 subiecți, în special la cei cu o bună receptivitate tactilă. În schimb, bastonul a oferit îmbunătățiri doar pentru 8 participanți, arătând o eficiență limitată în compensarea pierderii câmpului vizual lateral.

Privind rezultatele în ansamblu, sonarul se distinge ca fiind cel mai constant performant dispozitiv, cu un total de 25 de cazuri (12 în cataractă și 13 în glaucom) în care traiectoriile au fost apropiate de cele din mersul normal.

Concluzii privind scorul Tinetti:

Analiza scorurilor Tinetti a arătat că deficiențele vizuale simulate afectează semnificativ stabilitatea mersului. În mers normal, toți cei 25 de participanți au obținut scorul maxim de 12 puncte. Cataracta a produs cele mai slabe scoruri (3–8 puncte), iar glaucomul a avut un impact mai redus (5–8 puncte). Dispozitivele au îmbunătățit performanța în grade diferite: bastonul a adus doar o ameliorare parțială, manșeta a dus mulți participanți în zona galbenă a stabilității, iar dispozitivul tridirecțional a oferit scoruri constante de 9–10. Sonarul a fost cel mai eficient, cu scoruri între 10 și 12 la majoritatea participanților, apropiind mersul de cel normal.

Concluzii privind abaterile față de mersul normal:

Analiza abaterilor laterale la 25 de participanți a arătat că deficiențele vizuale simulate afectează semnificativ traiectoria mersului. În cataractă, deviațiile au fost cele mai mari, iar bastonul s-a dovedit ineficient, în timp ce sonar a redus abaterile cu 12,3%. În glaucom, deviațiile au fost mai mici, dar sonar a rămas cel mai eficient, reducând abaterile sub 5 mm la unii participanți. Dispozitivul tridirecțional a oferit îmbunătățiri constante, iar manșeta a avut efecte moderate, dar inegale. Bastonul a fost cel mai puțin eficient în ambele condiții. Sonarul s-a evidențiat ca cea mai bună soluție pentru restabilirea controlului direcțional al mersului.

Concluzii chestionar de satisfacție :

Chestionarul completat de cei 25 de participanți a arătat că cataracta este percepută ca mai restrictivă decât glaucomul, având scoruri medii mai mari privind afectarea vederii și mobilitatea. Sonarul a fost cel mai apreciat dispozitiv, fiind considerat cel mai confortabil, ușor de purtat și eficient, cu 72% dintre participanți care l-au plasat pe primul loc. Manșeta a ocupat locul doi, dar cu opinii mai variate, iar dispozitivul tridirecțional a fost evaluat moderat, eficient, dar greu de montat. Bastonul a fost cel mai slab cotate, fiind considerat greu, incomod și lent în reacție. În general, participanții au preferat dispozitivele moderne cu feedback auditiv, considerate mai utile decât soluțiile tradiționale.

Concluzii privind relația confortului în mers subiectiv:

Analiza scorurilor SCM (Scor de Confort în Mers) pentru 25 de participanți a evidențiat un impact semnificativ al deficiențelor vizuale simulate asupra confortului locomotor, dar și eficiența diferită a celor

patru dispozitive testate. În condiții de cataractă simulată, media confortului a scăzut la 57,6%, cu valori individuale adesea sub 60%, semnalând dificultăți mari în menținerea stabilității direcționale. Bastonul nu a adus îmbunătățiri, ba chiar a redus media la 52,4%, indicând o adaptare dificilă la feedbackul tactil în lipsa vederii centrale. Manșeta a crescut moderat confortul (63,4%), dar cu variații mari între participanți. Dispozitivul tridirecțional a obținut o medie mai bună (66,3%) și a oferit rezultate solide în cazurile de orientare deficitară. Cel mai eficient s-a dovedit sonarul, care a crescut confortul la 86,1%, apropiind în numeroase cazuri scorurile de cele din mersul normal, datorită unui feedback auditiv ușor de integrat în deciziile motorii.

În simularea glaucomului, unde câmpul vizual periferic era afectat, media SCM a fost de 62,3%, cu scăderi severe la unii participanți. Bastonul a menținut o medie scăzută (49,6%), iar manșeta a adus o creștere moderată (64,4%). Tridirecționalul a oferit o îmbunătățire evidentă, media urcând la 72%, în special în rândul participanților adaptați parțial. Sonarul a confirmat eficiența superioară și în această condiție, obținând o medie de 88,5%, cu valori de peste 90% la mai mulți participanți.

În concluzie, sonarului i se confirmă capacitatea de a restabili confortul comportamental în mers, indiferent de tipul de deficiență vizuală, oferind cel mai bun sprijin prin feedback auditiv direcțional, adaptativ și eficient.

Capitolul 8.

Concluzii finale. Contribuții personale. Direcții viitoare de cercetare

8.1. Concluzii finale

Lucrarea a abordat într-o manieră interdisciplinară și complexă problematica mobilității persoanelor cu deficiențe de vedere, integrând analiza conceptuală, investigațiile experimentale biomecanice, modelarea simulativă, precum și evaluarea funcționalității și confortului comportamental asociat utilizării dispozitivelor de ajutor vizual.

Analiza teoretică detaliată a evidențiat evoluția abordărilor tehnologice și sociale dedicate persoanelor cu vedere slabă, subliniind rolul esențial al tehnologiilor emergente în îmbunătățirea independenței și calității vieții acestora. Totodată, studiul scientometric realizat a confirmat o tendință actuală de concentrare a cercetărilor pe componentele tehnologice ale asistenței vizuale, fiind însă mai puțin aprofundată dimensiunea comportamentală a interacțiunii utilizator-dispozitiv.

Simulările efectuate în mediul de programare LabVIEW au permis anticiparea modificărilor biomecanice ce apar în mersul persoanelor cu deficiențe vizuale. Aceste modele au evidențiat efectele destabilizatoare ale limitării informației vizuale asupra echilibrului dinamic, confirmate ulterior prin testările biomecanice experimentale.

Investigațiile experimentale derulate pe subiecți sănătoși supuși simulării a două tipuri de deficiență vizuală (cataractă și glaucom) au arătat că aceste limitări vizuale determină adaptări posturale evidente, manifestate prin devieri laterale ale traiectoriei de mers, creșterea duratei sprijinului bilateral, modificări ale presiunii plantare și scăderea simetriei pasului. Totodată, evaluarea obiectivă a forței plantare și a centrului de presiune a confirmat existența unor strategii compensatorii variabile de la un individ la altul.

Testarea comparativă a celor patru dispozitive de asistență vizuală a evidențiat performanțe diferențiate în funcție de tipul deficienței simulate și particularitățile fiecărui participant. Dispozitivul dezvoltat în cadrul acestei lucrări — sistemul sonar cu detecție infraroșu și feedback auditiv direcțional — a demonstrat, constant, cele mai bune rezultate în reducerea deviațiilor de traiectorie, în creșterea forței plantare distribuite eficient, în menținerea stabilității posturale și în restabilirea confortului comportamental perceput de utilizatori.

Evaluarea integrativă a confortului comportamental (SCM), corelând parametrii biomecanici și răspunsurile subiective, a subliniat importanța evaluării mixte, întrucât percepția subiectivă de confort nu corespunde întotdeauna cu nivelul optimizării biomecanice. Există participanți care, deși prezentau parametri biomecanici apropiați de cei normali, resimțeau în continuare incertitudine sau stres adaptativ în lipsa vederii normale, confirmând complexitatea factorilor psihologici implicați.

Rezultatele chestionarului de satisfacție au consolidat superioritatea sistemului Sonar din perspectiva utilizatorilor, acesta fiind perceput ca cel mai ușor, rapid, confortabil și eficient în utilizare. Dispozitivele tridirecțional și manșeta au oferit performanțe intermediare, iar bastonul clasic cu senzori a fost cel mai puțin eficient în contextul simulărilor realizate.

În ansamblu, cercetarea a demonstrat valoarea integrării modelării teoretice, a testării experimentale controlate și a validării subiective în dezvoltarea soluțiilor de asistență pentru mobilitatea persoanelor cu deficiențe vizuale. Dispozitivul propus are potențial aplicativ real, reprezentând o soluție ergonomică, accesibilă și eficientă, cu capacitate de adaptare atât pentru deficiențe de vedere centrală, cât și periferică. Totodată, rezultatele susțin necesitatea unor viitoare cercetări orientate spre personalizarea dispozitivelor în funcție de specificul deficienței, stilul individual de mers și capacitatea de integrare senzorială a utilizatorilor.

8.2. Contribuții personale

- Analiza și sinteza elementelor definitorii pentru domeniul de vedere slabă – Conform standardelor Consiliului European de Optică și Optometrie (ECOO).
- Identificarea cazuisticii și etiopatogeniei stării de vedere slabă – Analize pe categorii de patologii oculare cauzale pentru apariția disfuncțiilor vizuale.
- Identificarea viciilor de refracție și efectul lor asupra calității imaginii retinale.
- Corelarea parametrilor funcției vizuale cu nivelul standardizat corespunzător stării de vedere slabă.
- Selecția metodelor și mijloacelor utile pentru examinarea, testarea și măsurarea caracteristicilor funcției vizuale scăzute.
- Structurarea mijloacelor de creștere a calității vieții pacienților cu vedere scăzută – Ierarhizarea dispozitivelor, a tehnologiilor de asistență, a elementelor de sprijin social și informațional.
- Studii de configurații de sprijin și creștere a calității vieții pentru integrarea socio-economică a pacienților cu vedere slabă – Analiza dezvoltării și implementării conceptului de Smart-City pentru persoanele cu deficiențe vizuale.
- Analiza scientometrică a literaturii de specialitate pentru identificarea zonei de cercetare în care să se poată dezvolta sisteme specifice.

- Sintetizarea modelelor de studiu ale ciclului de mers pentru identificarea efectelor disfuncțiilor vizuale asupra stării de confort comportamental.
- Analiza metodelor de captare a mișcării biomecanice ale sistemului locomotor.
- Contribuții la modelarea și simularea ciclului de mers în raport cu funcția vizuală în mediul de programare LabVIEW.
- Conceperea și structurarea unui dispozitiv de ajutor vizual pe principii senzoriale non-invazive.
- Proiectarea și construcția sistemului senzorial – SONAR – pe baza principiilor ingineriei mecanice.
- Conceperea, implementarea, verificarea și optimizarea algoritmului de funcționare a sistemului senzorial cu radiație IR.
- Aplicarea principiilor ergonomiei ocupaționale în utilizarea, manevrarea și întreținerea întregului dispozitiv.
- Analiza comparativă a dispozitivelor de ajutor vizual folosite în cercetarea experimentală prezentă în scopul determinării eficacității acestora (Baston – Manșetă – Tridirecțional – Sonar).
- Înregistrarea comportamentului biomecanic pe durata ciclului de mers a eșantionului de subiecți cărora li s-a simulat disfuncția vizuală.
- Extragerea datelor esențiale pentru definirea stării de confort comportamental și corelarea acestora din echipamentele profesionale (RSScan).
- Prelucrarea și evaluarea rezultatelor prin scări validate (scara Tinetti) și prin interpretarea chestionarului subiectiv.
- Conceperea, definirea și aplicarea indicelui de confort comportamental determinat pe principii biomecanice pentru evidențierea importanței performanțelor de mobilitate a pacienților cu vedere slabă ce utilizează dispozitivul de Sonar.
- Pe parcursul desfășurării studiilor doctorale, am diseminat rezultatele cercetării în 11 articole publicate, dintre care 7 sunt indexate în baze de date ISI Web of Science, 2 în baza de date Scopus și 2 sunt indexate în Google Scholar. Dintre acestea, în 7 articole am avut calitatea de prim autor, iar în 4 articole am fost coautor.
- De asemenea, am participat la un număr de 11 conferințe științifice naționale și internaționale, contribuind cu lucrări științifice care reflectă etapele și concluziile cercetării doctorale. Din totalul acestora, 6 conferințe au avut lucrările indexate ISI, 2 conferințe au fost indexate Scopus, iar 2 conferințe au fost recunoscute în Google Scholar. În cadrul conferinței AFCO 2024, organizată de Universitatea Transilvania din Brașov, lucrarea prezentată a obținut premiul pentru cea mai bună contribuție științifică la secțiunea dedicată doctoranzilor.

8.3. Direcții viitoare de cercetare

- Pornind de la conceptul dezvoltat (cercetări în cadrul proiectului de licență, disertație și cercetări aplicative) de-a lungul timpului se constată că lucrarea prezentă se încadrează într-o linie flexibilă, deschisă, posibil integrabilă în structuri complexe.
- Optimizarea ergonomiei și portabilității dispozitivului - Reducerea greutateii, îmbunătățirea prinderii și adaptarea designului pentru purtare confortabilă zilnică. Materiale cu calități și performanțe ridicate, combinarea senzorilor IR cu senzori de profunzime (LIDAR sau ToF)

- Adaptarea semnalelor sonore pentru diferite niveluri de percepție auditivă prin utilizarea unor accesorii de tip cască
- Integrarea cu aplicații mobile pentru monitorizare și personalizare
- Testarea pe un număr de persoane, cu vârste și afecțiuni diferite (disfuncții vizuale)
- Integrarea studiilor în programe de cercetare interdisciplinară.

Specialized Books (7)

- [11] Scheiman, M., et al. (2007). *Low Vision Rehabilitation: A Practical Guide for Occupational Therapists*. Slack Inc.
- [13] Jackson, A. J., & Wolffsohn, J. S. (2007). *Low Vision Manual*. Butterworth Heinemann/Elsevier.
- [27] Manolescu, D. (1958). *Oftalmologia*. Editura Medicală, București.
- [117] NV Access. *NVDA Screen Reader – Manual & Guide*. NV Access Foundation.
- [162] Hall, S. J. (2014). *Basic Biomechanics* (7th ed.). McGraw-Hill Education.
- [163] Roșca, I.-C., & Șerban, I. (2015). *Fundamente de Biomecanică*. Editura Universității Transilvania din Brașov.
- [166] Huston, R. L. (2009). *Principles of Biomechanics*. Taylor & Francis Group.

Specialized Articles (16)

- [1] Goodrich, G., Aries, A., Rubin, G., Keeffe, J., & Legge, G. (2008). The low vision timeline: An interactive history. *Vision Impairment Research*, 10(2–3), 67–75.
- [4] Goldish, L. H., & Taylor, H. E. (1974). The Optacon: A Valuable Device for Blind Persons. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 68(2), 49–56.
- [9] Nguyen, X. T. A., Koopman, J., van Genderen, M. M., Stam, H. L. M., & Boon, C. J. F. (2022). Artificial vision: the effectiveness of the OrCam.... *Acta Ophthalmologica*, 100(4), e986–e993.
- [10] Muqit, M. M. K., et al. (2023). Prosthetic Visual Acuity with the PRIMA System.... *medRxiv*.
- [18] Murthy, G. V. S., Vashist, P., John, N., Pokharel, G., & Ellwein, L. B. (2010). Prevalence and causes of visual impairment.... *Ophthalmic Epidemiology*, 17(4), 185–195.
- [19] Hashemi, H., et al. (2020). Global and regional prevalence of age-related cataract: a systematic review.... *Eye*.
- [26] Flaxman, S. R., et al. (2017). Global causes of blindness and distance vision impairment 1990–2020.... *The Lancet Global Health*, 5(12), e1221–e1234.
- [35] Fleckenstein, M., et al. (2021). Age-related macular degeneration. *Nature Reviews Disease Primers*, 7(1), 1–25.
- [36] Maurya, M., Munshi, R., Thakur, S., & Zambare, S. (2022). Emerging Pharmacological Targets for Dry AMD. *Journal of Exploratory Research in Pharmacology*, 6(3).
- [39] Reis, T. F., Paula, J. S., & Furtado, J. M. (2022). Primary glaucomas in adults: Epidemiology.... *Clinical and Experimental Ophthalmology*, 50(2), 128–142.
- [41] Allison, K., Patel, D., & Alabi, O. (2020). Epidemiology of Glaucoma. *Cureus*, 12(11), e11686.

- [56] Choudhury, M. A., & Rahman, S. N. (2019). Assistive technologies for visually impaired persons: How far have we come? *IEEE Access*, 7, 113103–113115.
- [58] Zhang, H., Li, J., & Wei, Y. (2020). Development of smart wearable devices for blind navigation. *Sensors*, 20(18), 5001.
- [73] Narayana, P., & Chattopadhyay, A. K. (2020). A survey on navigation systems for visually impaired people. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 11, 1–22.
- [152] Apostoaie, M. G., Baritz, M. I., Repanovici, A., et al. (2023). Visual Aid Systems from Smart City to Improve the Life of People with Low Vision. *Sustainability*, 15(8), 6852.
- [166] Huston, R. L. (2009). *Principles of Biomechanics*. Taylor & Francis.

Websites (7)

- [2] Hernandez, J., Mahajan, S., & Victor, S. (2005). History of Accessibility Technology. <https://cs.stanford.edu/people/eroberts/courses/soco/projects/2005-06/accessibility/firstwave.html>
- [12] ECOO. Low Vision (Position Paper). <https://ecoo.info/2011/03/position-paper-low-vision/>
- [14] American Optometric Association. Low Vision and Vision Rehabilitation. <https://www.aoa.org/healthy-eyes/caring-for-your-eyes/low-vision-and-vision-rehab>
- [15] CDC – Centers for Disease Control and Prevention. Vision Loss and Mental Health. <https://www.cdc.gov/visionhealth/resources/features/vision-loss-mental-health.html>
- [30] Southern Vision. Cataract. <https://southernvision.co.nz/cataract/>
- [40] World Health Organization. Blindness and vision impairment. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>
- [43] RNIB – Royal National Institute of Blind People. Technology for Life. <https://www.rnib.org.uk/living-with-sight-loss/technology-for-life/>

Lista publicațiilor

Activitatea de cercetare desfășurată în cadrul acestei teze s-a concretizat prin publicarea și prezentarea unui număr de 16 lucrări științifice în cadrul unor manifestări științifice internaționale și naționale de prestigiu. Dintre acestea, 8 lucrări sunt indexate în ISI Web of Science (WoS Core Collection), 2 lucrări în Scopus, 2 lucrări în volume Springer (indexate SpringerLink și Scopus), 2 lucrări sunt indexate în baze de date internaționale recunoscute (Google Scholar – BDI), iar 2 lucrări au fost prezentate în cadrul unor conferințe naționale de profil.

O contribuție semnificativă este reprezentată de publicarea lucrării „Visual Aid Systems from Smart City to Improve the Life of People with Low Vision” în revista Sustainability (ISI Web of Science, 2023), care evidențiază integrarea conceptelor de oraș inteligent și a tehnologiilor moderne în infrastructura urbană destinată persoanelor cu deficiențe de vedere.

1. **Apostoaie Mirela Gabriela**, Baritz Mihaela Ioana, 3D Printing Procedure Applied in the Design of Portable Devices for Visual Aid, Polcom 2018, Bucuresti, **Scopus** , <https://0a109aga9-y-https-www-scopus-com.z-enformation.ro/record/display.uri?eid=2-s2.0-85071051096&origin=resultslist&sort=plf-t&src=s&sid=f7d84e05b03076c72c88b34b0577c0a5&sot=b&sdt=b&s=AUTHOR-NAME%28apostoaie%29&sl=22&sessionSearchId=f7d84e05b03076c72c88b34b0577c0a5>
2. Baritz Mihaela Ioana, **Apostoaie Mirela Gabriela**, Lazar Alexandra, Portable campimeter to evaluate visual field modifications of subjects with low vision state, IFMBE 2019, Timisoara, **ISI** , <https://0a10qagay-y-https-www-webofscience-com.z.e-nformation.ro/wos/woscc/full-record/WOS:000552314200141>
3. **Apostoaie Mirela Gabriela**, Baritz Mihaela Ioana , Analysis of the spectacles behavior made by composite structures, Polcom 2019, Bucuresti, **ISI**, <https://0a10qagay-y-https-www-webofscience-com.z.e-nformation.ro/wos/woscc/full-record/WOS:000534200700040>
4. Baritz Mihaela Ioana, **Apostoaie Mirela Gabriela**, Development of equipment for visual aid and motor, EHB 2019, Iasi, **ISI**, <https://0a10qagay-y-https-www-webofscience-com.z.e-nformation.ro/wos/woscc/full-record/WOS:000558648300016>
5. **Apostoaie Mirela Gabriela**, Some aspects regarding the construction of a portable perimeter made of composite materials, Polcom 2019, Bucuresti , **ISI**, <https://0a10qagay-y-https-www-webofscience-com.z.e-nformation.ro/wos/woscc/full-record/WOS:000534200700042>
6. Baritz Mihaela Ioana, **Apostoaie Mirela Gabriela**, Visual Aids Based on Ultrasonic Sensors to Increase Mobility of Patient with Blindness or Low Vision, AVMS 2019, Timisoara, **Scopus**, <https://0a109aga9-y-https-www-scopus-com.z.e-nformation.ro/record/display.uri?eid=2-s2.0-85097198745&origin=resultslist&sort=plf-t&src=s&sid=f7d84e05b03076c72c88b34b0577c0a5&sot=b&sdt=b&s=AUTHOR-NAME%28apostoaie%29&sl=22&sessionSearchId=f7d84e05b03076c72c88b34b0577c0a5>
7. **Apostoaie Mirela Gabriela**, Baritz Mihaela, The Concept of comfort applied in the analyzes on the behavior of people with low vision - current stage, COMAT 2020, Braşov, **GOOGLE SCHOLAR** , <http://193.254.231.99:8080/jspui/handle/123456789/2507>

8. **Apostoaie Mirela Gabriela**, Baritz Mihaela Ioana Assistive systems for subjects with low vision, ICISIL 2021 Braşov, **GOOGLE SCHOLAR** , <http://aspeckt.unitbv.ro/jspui/handle/123456789/2620>
9. **Apostoaie Mirela Gabriela**, Baritz Mihaela Ioana, Repanovici Angela , New Paradigms Used in the Study of Behavior in Condition of Postural Discomfort / Comfort, EHB 2021, **ISI**, <https://0a10qagay-y-https-www-webofscience-com.z.e-nformation.ro/wos/woscc/full-record/WOS:000802227900166>
10. **Apostoaie Mirela Gabriela**, Baritz Mihaela, Repanovici Angela, Barbu Daniela Mariana, Lazăr Alexandra Maria, Bodi Gyury , Visual Aid Systems from Smart City to Improve the Life of People with Low Vision, Journal – Sustainability 2023 nr.15, **ISI**, <https://0a10qagay-y-https-www-webofscience-com.z.e-nformation.ro/wos/woscc/full-record/WOS:000983092100001>
11. **Mirela Gabriela Apostoaie**, Mihaela Ioana Baritz, Barbu Braun, Angela Repanovici, Alexandra Lazăr, Gyory Bodi, Simulation of Comfort Behavior During the Gait Cycle of People with Low Vision, International Conference on E-Health and Bioengineering - EHB 2024 Iaşi, **ISI** , <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10805621>
12. Anca Ioana Tătaru (Ostafe), Mihaela Ioana Baritz, Angela Repanovici, Corneliu Nicolae Druga, Daniela Mariana Barbu, **Mirela Gabriela Apostoaie**, Analysis of the Distribution of Forces and Pressures on the Plantar Surface in Different Walking Types, 6th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering, ICNBME 2023, Chişinău, **Springer**, https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-42782-4_13
13. Anca Ioana Tătaru (Ostafe), Mihaela Ioana Baritz, Angela Repanovici, Corneliu Nicolae Druga, Daniela Mariana Barbu, Mirela Gabriela Apostoaie, Biomechanical Analysis of the Balance of the Human Body, 6th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering, ICNBME 2023, Chişinău, **Springer**, https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-42782-4_10
14. Anca-Ioana Tătaru, Mihaela-Ioana Baritz; Angela Repanovici; Luciana Cristea; **Mirela Gabriela Apostoaie**; Adrian Cătălin Lungu, International Conference on E-Health and Bioengineering - EHB 2024 Iaşi, **ISI**, <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10805721>
15. **AFCO 2024**- Premiu- Se menţionează, de asemenea, că în mai 2024, doctoranda a participat la conferinţa AFCO (Absolvenţi în Faţa Companiilor), organizată de Universitatea Transilvania din Braşov, unde a prezentat lucrarea *Analiza experimentală a stabilităţii dinamice pentru persoanele cu vedere scăzută*, ce reflectă o parte a rezultatelor cercetărilor desfăşurate în cadrul programului doctoral. Lucrarea a obţinut premiul acordat de juriul conferinţei la secţiunea dedicată doctoranzilor. https://afco.unitbv.ro/2024/images/Documente/Premii_AFCO_2024.pdf
16. **Doco2024** (Doctoral Conference) Braşov- Visual Aid Systems from Smart City to Improve the Life of People with Low Vision