

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

BAIAS MARIA SOFIA

TEZA DE DOCTORAT

Coordonator științific:
Prof. univ. dr. habil. IOSIF SANDOR

2026

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

BAIAS MARIA SOFIA

**EDUCAREA ECHILIBRULUI STATIC LA ELEVII CU DIZABILITĂȚI PRIN
INTERVENȚII KINETOTERAPEUTICE ȘI TEHNOLOGII DIGITALE
INTERACTIVE**

Coordonator științific:
Prof. univ. dr. habil. IOSIF SANDOR

2026

Cuprins

LISTA ABREVIERILOR	5
INTRODUCERE.....	6
Importanța și actualitatea temei.....	6
Motivarea alegerii temei.....	7
Scopul, obiectivele și ipotezele cercetării	7
Noutatea și contribuția științifică a cercetării.....	8
PARTEA I — FUNDAMENTAREA TEORETICO-ȘTIINȚIFICĂ A LUCRĂRII.....	10
CAPITOLUL 1. CONCEPTUL DE ECHILIBRU	10
Definiții și niveluri de organizare ale echilibrului.....	10
Diferențe individuale, de vârstă și de gen	11
Neurofiziologia echilibrului: integrare senzorială și adaptare	11
Tulburările de echilibru: cauze și implicații clinice	12
CAPITOLUL II. DEFICIENȚE DE ECHILIBRU — CARACTERISTICI ȘI DIRECȚII DE INTERVENȚIE TERAPEUTICĂ	13
Particularități la copiii cu dizabilități intelectuale.....	13
Particularități la copiii cu tulburări de coordonare a dezvoltării (TCD)	13
Direcții de intervenție.....	14
Propriocepția la copiii cu dizabilități neuromotorii și intelectuale	14
CAPITOLUL III. CONTROLUL POSTURAL, ECHILIBRUL STATIC ȘI STABILITATEA — O ABORDARE SENZORIOMOTORIE	16
Componentele echilibrului static și limitele stabilității.....	16
Particularități în dizabilități și direcții de reabilitare	16
Rolul kinetoterapiei	16
CAPITOLUL IV. PSIOMOTRICITATEA ȘI INFLUENȚA SA ASUPRA ECHILIBRULUI	18
Dimensiunile psiomotricității	18
Mecanisme neurofiziologice și relația cu echilibrul	18
Integrarea tehnologiei în intervențiile psiomotrice moderne	19
CAPITOLUL V. DEZVOLTAREA REFLEXULUI DE REDRESARE PENTRU PREVENIREA DEZECHILIBRĂRII.....	21
Organizare funcțională și dezvoltare ontogenetică	21
Intervenții kinetoterapeutice orientate spre redresare	21
CAPITOLUL VI. MIRA — O PARADIGMĂ INTEGRATIVĂ ÎN REABILITAREA MOTRICĂ ASISTATĂ DIGITAL	23
Definirea conceptului și fundamentele teoretice	23
Arhitectura tehnologică și logica gamificării	23
Dimensiunea psihologică și aplicabilitatea pediatrică	23

MIRA ca mediu de învățare motrică asistată digital	24
Validare clinică, avantaje și limitări.....	24
Sinteză metodologică și poziționarea demersului experimental	24
PARTEA A II-A — CERCETĂRI PROPRII PRIVIND INTERVENȚIILE KINETOTERAPEUTICE ȘI TEHNOLOGII DIGITALE INTERACTIVE	26
CAPITOLUL VII. STUDIU PILOT — EFICIENȚA UTILIZĂRII PLATFORMEI DIGITALE MIRA.....	26
Premise și scop	26
Subiecți și metodologie	26
Rezultate.....	27
Discuții și concluzii	28
CAPITOLUL VIII. STUDIU PERSONAL — EFECTELE APLICĂRII PROGRAMULUI TERAPEUTIC INTEGRAT	31
Scop, ipoteze și obiective	31
Design, eșantion și etape ale cercetării.....	31
Instrumente de evaluare	32
Descrierea protocolului terapeutic.....	33
Rezultate — parametri stabilometrici (BTS P-Walk / G-Walk)	34
Rezultate — teste clinice standardizate.....	35
Discuții asupra rezultatelor obținute prin evaluarea stabilometrică	36
Discuții asupra rezultatelor obținute prin Berg Balance Scale.....	38
Discuții asupra rezultatelor obținute prin Mini-BESTest și Brief-BESTest	39
Concluziile capitolului	40
CAPITOLUL IX. CONCLUZII GENERALE.....	41
Concluzii raportate la obiective și ipoteze	41
Concluzie sintetică finală	41
Limitele studiului	43
CAPITOLUL X. CONTRIBUȚII ORIGINALE ALE TEZEI.....	46
Direcții viitoare de cercetare	47
Implicații practice și educaționale.....	48
Considerații reflexive asupra demersului de cercetare.....	48
BIBLIOGRAFIE	50

LISTA ABREVIERILOR

CES – Cerințe educaționale speciale

DI – Dizabilitate intelectuală

TCD – Tulburare de coordonare a dezvoltării

FNP – Facilitare neuromusculară proprioceptivă

CoP – Centrul de presiune (Centre of Pressure)

AP – Antero-posterior

LL – Latero-lateral

BBS – Berg Balance Scale (Scala Berg de evaluare a echilibrului)

ADL – Activities of Daily Living (activitățile vieții zilnice)

VR – Virtual Reality (realitate virtuală)

AR – Augmented Reality (realitate augmentată)

MIRA – Medical Interactive Recovery Assistant

SPSS – Statistical Package for the Social Sciences

SNC – Sistemul nervos central

Notă asupra acestui document: Textul de mai jos reprezintă un rezumat extins al tezei de doctorat, elaborat pe baza integrală a documentului original, cu păstrarea structurii pe capitole, a datelor statistice și a concluziilor formulate de autor. Anexele tezei (protocoale de intervenție, chestionare, analize statistice detaliate și publicații) nu sunt reproduse în acest rezumat.

INTRODUCERE

Importanța și actualitatea temei

Activitatea fizică este un factor esențial al sănătății și al dezvoltării funcționale a copilului, influențând organizarea neuromotorie, maturizarea psihomotrică și calitatea vieții pe termen lung (Powell & Pratt, 1996; Swift et al., 2014). În copilărie, mișcarea nu este doar un mijloc de expresie corporală, ci un stimul fundamental pentru maturizarea sistemului nervos central, contribuind la formarea deprinderilor motrice de bază și la consolidarea mecanismelor de control postural care stau la baza echilibrului static (Freitas et al., 2018). La copiii cu dizabilități neuromotorii, aceste mecanisme sunt frecvent perturbate, ceea ce justifică nevoia unor intervenții terapeutice structurate, inclusiv prin tehnologii asistate digital.

Echilibrul static ocupă un rol central în psihomotricitate, fiind un indicator al maturizării neuromotorii și al capacității de a menține stabilitatea posturală în condiții variabile. Controlul echilibrului presupune integrarea permanentă a informațiilor provenite din sistemele proprioceptiv, vestibular și vizual, alături de ajustări fine ale musculaturii posturale, pentru menținerea centrului de greutate în interiorul bazei de sprijin (Winter, 1995). Literatura de specialitate arată o prevalență ridicată a deficitelor de echilibru și coordonare la copiii cu dificultăți motorii (Cantell et al., 1994; Geuze, 2005; Miller et al., 2001), cu consecințe asupra autonomiei zilnice, participării școlare și integrării sociale (Bouffard et al., 1996).

Actualitatea temei este susținută de orientarea contemporană a reabilitării neuromotorii către intervenții bazate pe neuroplasticitate și pe principiile învățării motorii, care depășesc exercițiul izolat și pun accent pe sarcini funcționale, repetitive și progresive (Concha-Cisternas, 2023). În paralel, dezvoltarea tehnologiilor digitale aplicate în recuperare a condus la apariția unor instrumente precum gamificarea și platformele interactive de reabilitare, care transformă exercițiul fizic într-o activitate ludică și motivantă, cu feedback imediat și ajustare progresivă a dificultății (Bonnechère et al., 2017) — aspecte deosebit de relevante pentru elevii cu cerințe educaționale speciale (CES).

Literatura de specialitate indică un interes crescut pentru tehnologiile digitale și gamificarea în reabilitare, însă majoritatea studiilor vizează populații clinice specifice (de exemplu copii cu paralizie cerebrală sau boli neuromusculare), lăsând insuficient explorată categoria elevilor cu dizabilități neuromotorii diverse, integrați în învățământul special (Camara Machado et al., 2024). Cercetarea de față răspunde acestui decalaj, investigând impactul unui program terapeutic integrat — facilitare neuromusculară proprioceptivă, exerciții pe suprafețe instabile și activități motrice interactive prin platforma MIRA — asupra educării echilibrului static la elevii cu CES.

Motivarea alegerii temei

Alegerea temei se fundamentează pe experiența profesională acumulată în kinetoterapia școlară, care a evidențiat faptul că dificultățile de echilibru static și control postural sunt printre cele mai frecvente și persistente probleme întâlnite la elevii cu dizabilități neuromotorii. Aceste dificultăți nu se manifestă doar prin instabilitate în ortostatism, ci limitează realizarea transferurilor, menținerea posturilor necesare activităților educaționale și participarea la sarcini motrice adaptate.

Un argument central este discrepanța dintre nevoile reale ale elevilor și practica terapeutică curentă, adesea centrată pe exerciții analitice standardizate, cu potențial redus de transfer funcțional. Facilitarea neuromusculară proprioceptivă (FNP), exercițiile pe suprafețe instabile (precum placa de echilibru Bobath) și platformele digitale interactive precum MIRA oferă, fiecare, premise pentru depășirea acestor limite: FNP activează proprioceptorii și mecanismele reflexe de redresare (Bastian, 2006); instabilitatea controlată stimulează integrarea multisenzorială (Kachouri et al., 2016); iar mediul digital interactiv susține feedback-ul vizual, gradarea dificultății și motivația intrinsecă (Huotari & Hamari, 2012; Deci & Ryan, 2000). Analiza literaturii relevă însă un deficit de cercetări care să integreze aceste trei componente într-un cadru unitar, aplicat în școlile speciale, unde diversitatea dizabilităților impune intervenții flexibile (Camara Machado et al., 2024).

Scopul, obiectivele și ipotezele cercetării

Scopul general al tezei constă în investigarea eficienței unui program kinetoterapeutic integrat, bazat pe FNP, exerciții pe suprafețe instabile și activități motrice interactive asistate digital, în educarea echilibrului static și optimizarea controlului postural la elevii cu dizabilități neuromotorii integrați în învățământul special.

Obiectivul general este evaluarea impactului acestui program terapeutic integrat, aplicat în mediul educațional special, asupra echilibrului static și controlului postural. Obiectivele specifice vizează: (1) analiza caracteristicilor echilibrului static la elevii cu dizabilități neuromotorii, prin evaluări inițiale stabilometrice și funcționale, în vederea identificării nivelului de instabilitate posturală existent; (2) implementarea unui program kinetoterapeutic integrat, care să combine tehnici de facilitare neuromusculară proprioceptivă, exerciții de echilibru realizate în condiții de instabilitate controlată și activități motrice interactive asistate digital prin platforma MIRA, adaptate particularităților neuromotorii ale subiecților; (3) determinarea modificărilor parametrilor biomecanici ai controlului postural, prin analiza evoluției indicatorilor stabilometrici ai centrului de presiune, înainte și după intervenție; (4) evaluarea modificărilor echilibrului static din perspectivă funcțională, utilizând instrumente standardizate de evaluare a stabilității și controlului postural (Berg, 1989; Franchignoni et al., 2010; Horak et al., 2009); (5) compararea rezultatelor obținute pre- și post-intervenție, în vederea stabilirii eficienței programului terapeutic integrat; și (6) corelarea rezultatelor biomecanice cu cele funcționale, pentru a evidenția relația dintre îmbunătățirea stabilității posturale și performanța funcțională.

Ipoteza generală afirmă că aplicarea unui program kinetoterapeutic integrat, care combină FNP, exercițiile pe suprafețe instabile și activitățile motrice interactive asistate digital, determină îmbunătățiri semnificative ale echilibrului static și controlului postural la elevii cu dizabilități neuromotorii. Din aceasta derivă trei ipoteze specifice: (1) programul conduce la reducerea semnificativă a instabilității posturale, evidențiată prin îmbunătățirea parametrilor stabilometrici ai centrului de presiune, în evaluarea post-intervenție comparativ cu evaluarea inițială; (2) implementarea programului va conduce la creșteri semnificative ale scorurilor la testele funcționale de evaluare a echilibrului static, comparativ cu nivelul inițial; (3) îmbunătățirile evidențiate la nivel biomecanic sunt corelate pozitiv cu progresele funcționale, indicând o relație directă între stabilitatea posturală măsurată obiectiv și performanța funcțională.

Noutatea și contribuția științifică a cercetării

Noutatea tezei constă în abordarea integrativă a echilibrului static ca funcție psihomotrică centrală, analizată simultan din perspectivă teoretică, metodologică și aplicativă, în contextul reabilitării pediatrie și al educației speciale. Echilibrul static este conceptualizat nu ca o

abilitate izolată, ci ca rezultată a interacțiunii dintre controlul postural, integrarea senzorială, învățarea motorie și adaptarea funcțională, raportate la cerințele specifice mediului educațional.

Un prim nivel de contribuție științifică este reprezentat de integrarea coerentă a conceptelor de control postural, psihomotricitate și reorganizare neuromotorie într-un cadru aplicabil elevilor cu dizabilități neuromotorii, depășind abordările fragmentare existente care tratează aceste dimensiuni separat. O valoare adăugată semnificativă este integrarea tehnologiilor digitale interactive în demersul kinetoterapeutic nu ca substitut al intervenției clasice, ci ca extensie funcțională a acesteia — platforma MIRA fiind utilizată pentru susținerea feedback-ului imediat, a repetitivității și a implicării active în sarcină (Stanmore et al., 2019), facilitând condițiile necesare învățării motorii și reorganizării neuromotorii.

Un element distinctiv al demersului îl constituie combinarea sistematică a facilitării neuromusculare proprioceptive cu instabilitatea controlată și mediul digital interactiv, într-o arhitectură terapeutică unitară: tehnicile FNP sunt utilizate în contexte funcționale, în care dezechilibrul indus devine stimul pentru dezvoltarea strategiilor de redresare posturală, iar suprafețele instabile amplifică solicitarea proprioceptivă și declanșează ajustări posturale continue, susținute și direcționate de activitățile interactive digitale, care permit adaptarea progresivă a dificultății și menținerea motivației (Bonnechère et al., 2017; Springer & Yogev Seligmann, 2016).

Contribuția științifică este consolidată de contextul aplicativ ales — mediul educațional special, caracterizat prin heterogenitate neuromotorie și funcțională (Lord et al., 2020; Schalock et al., 2010) — programul terapeutic fiind adaptat elevilor cu dizabilități neuromotorii diverse, frecvent asociate cu dificultăți cognitive, senzoriale sau comportamentale, ceea ce impune flexibilitate metodologică și diferențiere funcțională. Un alt aport important îl reprezintă abordarea evaluativă multimodală, care corelează datele stabilometrice obiective cu evaluările funcționale standardizate (Nashner & Peters, 1990; Peterka, 2002), permițând o interpretare aprofundată a efectelor intervenției. Din perspectivă aplicativă, cercetarea propune un model terapeutic structurat, coerent și replicabil, compatibil cu cerințele curriculare ale disciplinei Kinetoterapie din aria „Terapii corectiv-compensatorii”, adaptabil în funcție de resursele instituționale și de particularitățile elevilor.

PARTEA I — FUNDAMENTAREA TEORETICO-ȘTIINȚIFICĂ A LUCRĂRII

CAPITOLUL 1. CONCEPTUL DE ECHILIBRU

Controlul postural este un proces neurofiziologic complex, care integrează multiple niveluri de control motor și senzorial (Horak, 2006; Peterka, 2002; Taube et al., 2008). Echilibrul static nu depinde exclusiv de parametrii biomecanici, ci de capacitatea sistemului nervos central de a combina, evalua și repondera informațiile senzoriale în funcție de context și sarcină. La copiii cu dizabilități, dezvoltarea acestor mecanisme este frecvent întârziată, dar poate fi ameliorată prin programe de antrenament bazate pe reeducare senzoriomotorie (Carmeli et al., 2008; Eslamdost et al., 2017; Zolghadr, Sedaghati & Daneshmandi, 2019).

Definiții și niveluri de organizare ale echilibrului

Echilibrul poate fi definit ca procesul prin care centrul de greutate al corpului este menținut vertical deasupra unei baze de sprijin (Anderson & Behm, 2005; Hrysomallis, 2011; Winter, 1995; Zatsiorsky & Duarte, 1999), printr-o reglare continuă și rapidă a informațiilor vizuale, vestibulare și somatosenzoriale (Nashner, 1997). În viziunea lui Bressel et al. (2007), echilibrul reprezintă abilitatea de a păstra poziția dorită a corpului în timpul mișcării, fiind totodată o componentă esențială a calităților motrice, strâns legată de coordonare și îndemânare (Grosu, 2009; Mateescu, 2010; Rață & Rață, 2005; Ricotti, 2011).

Literatura de specialitate identifică patru niveluri interdependente de organizare a echilibrului (Pollock et al., 2000; Mergner, 2010; Segev-Jacobovski et al., 2011): nivelul mecanic (relația statică dintre centrul de greutate și baza de sprijin), nivelul postural (reglarea activă a stabilității prin strategii motorii — glezna, șoldul, pasul compensator), nivelul senzorio-motor (integrarea informațiilor vestibulare și proprioceptive) și nivelul cognitiv (funcții executive și atenție selectivă). Conform principiilor mecanicii clasice, un sistem se află în echilibru atunci când suma forțelor și momentelor care acționează asupra sa este nulă (Bell, 1998), iar stabilitatea depinde de poziția centrului de greutate și de mărimea bazei de sprijin (Hall, 1991). Spre deosebire de un obiect inert, corpul uman dispune de un sistem activ de control neuromuscular care compensează continuu deviațiile și perturbările (Mergner, 2010), astfel încât stabilitatea nu este o stare pasivă, ci rezultatul unui proces activ de reglare permanentă.

Din perspectivă neurofiziologică, echilibrul este susținut de două tipuri de strategii posturale: anticipatorii (predictive), care pregătesc sistemul motor pentru o perturbare previzibilă, și

reactive (compensatorii), care intervin ca răspuns la o perturbare neașteptată (Horak & Nashner, 1986; Maki & McIlroy, 1997). Sistemele senzoriale implicate sunt cel vestibular, cel proprioceptiv și cel vizual (Horak & Macpherson, 1996; Mergner, 2010). Sistemul nervos central integrează aceste informații și le reponderează în funcție de context, generând comenzi motorii corective care stabilizează centrul de greutate (Lockhart & Ting, 2007).

Diferențe individuale, de vârstă și de gen

Odată cu înaintarea în vârstă se observă o reducere a eficienței sistemelor senzoriale și o încetinire a procesării centrale a informațiilor, ceea ce conduce la un timp de reacție mai lent și la o stabilitate posturală diminuată (Horak et al., 1989; Lord et al., 2007), agravate de sarcopenie (Granacher et al., 2011). Cercetările arată că persoanele vârstnice prezintă oscilații mai ample ale centrului de presiune și o latență crescută a răspunsurilor posturale (Carpenter et al., 2010), iar adaptabilitatea sistemului nervos central la schimbările de mediu scade odată cu vârsta (Era et al., 2006).

În ceea ce privește diferențele de gen, femeile tind să manifeste stabilitate superioară în sarcini statice, datorită unui centru de greutate mai coborât și unei baze de sprijin relativ mai mari (Hoffman et al., 1998), în timp ce bărbații beneficiază de o forță musculară mai mare, cu reacții mai prompte la perturbări (Paillard, 2017). Variațiile hormonale pot influența, la rândul lor, sensibilitatea proprioceptivă și coordonarea posturală (Kubo et al., 2001; Petrofsky et al., 2006).

Neurofiziologia echilibrului: integrare senzorială și adaptare

Controlul echilibrului static se bazează pe cooperarea sistemelor vestibular, vizual și somatosenzorial-proprioceptiv, ale căror informații sunt integrate central — trunchi cerebral, cerebel, ganglioni bazali, cortex (Assaiante & Amblard, 1995) — pentru generarea răspunsurilor motorii adecvate (Horak, 2006; Ivanenko & Gurfinkel, 2018; Cullen, 2011). Sistemul vestibular detectează accelerațiile capului și activează reflexele vestibulo-oculare și vestibulo-spinale (Cullen, 2011; Brooks & Cullen, 2013; Black et al., 2008). Sistemul vizual oferă repere externe pentru reglarea echilibrului, iar reducerea aportului vizual crește dependența de celelalte sisteme (Shumway-Cook & Woollacott, 2017). Propriocepția furnizează informații despre poziția segmentelor corporale (Gandevia, 2014; Buneo & Andersen, 2006).

Integrarea multisenzorială permite construirea unei reprezentări unificate a poziției corpului (Mergner, 2010), iar reponderarea senzorială — ajustarea contribuției fiecărui sistem în funcție

de context — reprezintă un mecanism adaptativ esențial (Peterka, 2002). Controlul postural rezultă din interacțiunea mecanismelor reflexe, mediate subcortical (Black et al., 2008), și voluntare, dependente de structurile corticale (Taube et al., 2008). Propriocepția joacă un rol determinant: în absența unui feedback vizual adecvat, ea devine principalul suport al stabilității, iar deficitele proprioceptive determină instabilitate crescută (Goble, 2010).

Echilibrul este susținut, de asemenea, de procesele de învățare motorie și plasticitate neuronală (Taube et al., 2008), cerebelul și cortexul motor jucând roluri centrale în consolidarea acestor adaptări (Bastian, 2006). Programele de reabilitare bazate pe feedback vizual, vestibular și proprioceptiv — inclusiv sistemele interactive — favorizează recalibrarea integrării senzoriale și reorganizarea rețelelor neuronale (Konczak et al., 2009; Sun et al., 2021).

Tulburările de echilibru: cauze și implicații clinice

Tulburările de echilibru pot apărea ca urmare a afectării oricărei componente a rețelei senzoriale sau centrale implicate în reglarea posturală, cauzele incluzând disfuncții ale sistemului nervos central, leziuni ale urechii interne, precum și factori generali sau metabolici (Beaumont Health, 2024). La copii, tulburările de echilibru sunt frecvent asociate deficitelor senzoriale și tulburărilor de dezvoltare neuromotorie (Brandt et al., 1994; Harun et al., 2016). Prin antrenamente repetate, sistemul nervos dezvoltă mecanisme compensatorii care permit adaptarea la deficite vestibulare sau proprioceptive (Cullen, 2011), principiu care fundamentează utilizarea programelor terapeutice structurate, inclusiv a celor asistate digital.

Concluzia capitolului: controlul echilibrului uman rezultă din interacțiunea complexă dintre sistemele senzoriale și mecanismele centrale de integrare și reglare motorie. Cunoașterea acestor procese constituie fundamentul strategiilor terapeutice moderne, bazate pe neuroplasticitate și antrenament multimodal, cu aplicabilitate directă în reabilitarea echilibrului static la copiii cu dizabilități neuromotorii.

CAPITOLUL II. DEFICIENȚE DE ECHILIBRU — CARACTERISTICI ȘI DIRECȚII DE INTERVENȚIE TERAPEUTICĂ

Echilibrul reprezintă baza majorității mișcărilor, influențând autonomia, interacțiunea socială și încrederea în sine. La copiii cu dizabilități intelectuale (DI) și tulburări de coordonare a dezvoltării (TCD), deficiențele de echilibru limitează participarea la activitățile cotidiene și educaționale, cresc riscul de accidentare și afectează calitatea vieții.

Particularități la copiii cu dizabilități intelectuale

Dizabilitatea intelectuală este o tulburare de dezvoltare caracterizată prin limitări semnificative ale funcționării intelectuale și ale comportamentelor adaptive, manifestate înainte de vârsta adultă (Afrooz, 2013). Prevalența sa variază între 3% și 13% din populația globală, iar aproximativ 75–90% dintre persoane prezintă forme ușoare, „educabile” (Walsh et al., 2018). În țările cu nivel redus de dezvoltare, prevalența este de aproximativ 4,6% dintre copiii sub 18 ani, comparativ cu 0,5–2,5% în statele industrializate (Haveman et al., 2010). Clasificarea se realizează frecvent pe baza IQ-ului și a capacității de învățare (Afrooz, 2013), sistemele moderne de diagnoză acordând prioritate funcționării adaptive, iar băieții fiind afectați mai frecvent decât fetele (Haveman et al., 2010). Etiologia este multifactorială, incluzând cauze ereditare, prenatale, perinatale și postnatale (Rostami, Rezaie & Jabari, 2015).

Pe lângă limitările cognitive, copiii cu DI prezintă frecvent obezitate, slăbiciune musculară, deviații posturale, tulburări de echilibru și alte dizabilități fizice asociate (Walsh et al., 2018). Performanțele perceptiv-motorii sunt inferioare celor ale copiilor tipici, pe fondul deficitelor sistemului senzorio-motor și al instabilității posturale crescute (Pitchford, Dixon-Ibarra & Hauck, 2018), fiind însoțite de forță musculară redusă și viteză de reacție scăzută (Taghian, Ghasemi & Sadeghi, 2017). Echilibrul static și dinamic este adesea afectat, ceea ce crește riscul de cădere și limitează autonomia funcțională (Sretenović, Nedović & Đorđević, 2019); Hoffman (1998) a observat performanțe mai bune la fete decât la băieți, însă ambele grupuri prezintă un decalaj de 2–4 ani față de copiii tipici. Mișcarea are rol esențial în explorarea mediului, reglarea comportamentală și creșterea stimei de sine (Pise, Pradhan & Gharote, 2018).

Particularități la copiii cu tulburări de coordonare a dezvoltării (TCD)

TCD este o tulburare de neurodezvoltare caracterizată prin deficite marcate de coordonare motrică, în absența unor afecțiuni neurologice, musculo-scheletice sau senzoriale explicative (American Psychiatric Association, 2022; Blank et al., 2012). Dificultățile motorii sunt considerate rezultatul unei integrări deficitare a informațiilor senzorio-motorii și al unei

planificări ineficiente a acțiunilor (Geuze, 2005; Polatajko & Cantin, 2005), cu impact semnificativ asupra activităților vieții cotidiene (Barnhart et al., 2003; Gillberg & Kadesjö, 2003). ICD-11 descrie întârzieri în dobândirea abilităților motrice grosiere și fine (World Health Organization, 2021), iar manifestările tipice includ neîndemânare generalizată și dificultăți în activități precum scrisul de mână, mersul pe bicicletă sau sporturile de echipă (Gibbs, Appleton & Appleton, 2007; Kirby & Sugden, 2007).

Direcții de intervenție

Literatura documentează eficiența mai multor tipuri de intervenție, sintetizate mai jos:

Tip de intervenție	Populație	Efecte raportate în literatură
Terapie prin joc (Yalfani et al., 2017)	DI	Ameliorează echilibrul general și controlul oscilațiilor antero-posterioare și medio-laterale
Antrenament de forță orientat spre proces (Kordi et al., 2016)	TCD	Îmbunătățește forța musculară și echilibrul static; efect limitat asupra echilibrului dinamic
Stimulare senzoriomotorie (Dadmehr et al., 2014)	DI cu TCD asociat	Poate îmbunătăți coordonarea motorie la forme ușoare
Antrenamentul stabilității trunchiului (Eslamdost et al., 2017)	TCD	Ameliorează atât echilibrul static, cât și cel dinamic
Stretching / yoga (Pise et al., 2018)	DI	Ameliorează echilibrul static, coordonarea mână-ochi, agilitatea și viteza de reacție

Tabel C. Direcții de intervenție terapeutică documentate în literatura internațională (adaptat după teză)

Activitățile fizice regulate contribuie, dincolo de dimensiunea strict motrică, la creșterea independenței, a integrării sociale și la formarea unei imagini de sine pozitive (Rezaei, Arabameri & Sohrabi, 2017).

Propriocepția la copiii cu dizabilități neuromotorii și intelectuale

Propriocepția reprezintă capacitatea organismului de a percepe poziția, mișcarea și orientarea segmentelor corporale în spațiu, independent de informațiile vizuale, fiind esențială pentru controlul motor și menținerea echilibrului (Proske & Gandevia, 2012). Conceptul a fost introdus de Sherrington (1906, citat în Levine, 2007), care l-a diferențiat de sensibilitatea exteroceptivă și interoceptivă; kinestezia exprimă dimensiunea dinamică a informației proprioceptive (Goble, 2010). Propriocepția are rol determinant prin integrarea informațiilor provenite de la fusurile neuromusculare, terminațiile tendinoase Golgi și receptorii articulari (Gandevia, 2014), permițând detectarea deviațiilor minime ale centrului de greutate, proces mediat de cerebel, cortex și structuri talamice (Bastian, 2006).

Echilibrul static depinde direct de procesarea informațiilor proprioceptive și de integrarea lor cu cele vestibulare și vizuale (Gandevia, 2014). La copiii cu dizabilități intelectuale și neuromotorii, deficitul de integrare proprioceptivă se manifestă prin instabilitate posturală și strategii ineficiente de echilibru (Carmeli et al., 2008), fenomen accentuat de nivelul redus de activitate fizică (Sretenović et al., 2019).

Literatura susține eficiența programelor de stimulare proprioceptivă prin exerciții de echilibru static, activități pe suprafețe instabile și sarcini de control al centrului de greutate (Taghian et al., 2017; Pise et al., 2018; Kachouri et al., 2016; Hosseini & Azimzadeh, 2023). Facilitarea neuromusculară proprioceptivă stimulează proprioceptorii prin tehnici de stabilizare ritmică, rezistență adaptată și alternare agonist–antagonist (Bastian, 2006). Propriocepția este fundamentul stabilității posturale și al echilibrului static, iar eficiența controlului postural reflectă direct calitatea procesării proprioceptive (Lee, Lee & Song, 2016); la copiii cu dizabilități intelectuale și neuromotorii, această relație are relevanță deosebită pentru performanța motrică și participarea educațională (Sretenović & Nedović, 2019). Integrarea exercițiilor în contexte ludice și funcționale crește implicarea și repetitivitatea (Pise et al., 2018; Rezaei et al., 2017), iar platformele digitale interactive de gamificare, precum MIRA, potențează educarea propriocepției și a echilibrului static.

Concluzia capitolului: deficitul de echilibru sunt frecvente la copiii cu dizabilități neuromotorii, intelectuale și cu TCD, afectând autonomia, siguranța și integrarea socio-educatională. Intervențiile multimodale care combină dezvoltarea forței, coordonării și propriocepției s-au dovedit eficiente, iar abordarea integrativă — instabilitate controlată, FNP și tehnologii interactive — oferă un model actual de reabilitare pediatrică.

CAPITOLUL III. CONTROLUL POSTURAL, ECHILIBRUL STATIC ȘI STABILITATEA — O ABORDARE SENZORIOMOTORIE

Controlul postural este o funcție esențială a sistemului nervos, implicată în menținerea poziției, coordonarea mișcărilor și prevenirea căderilor (Horak, 2006), fiind considerat o abilitate motorie complexă, rezultată din interacțiunea proceselor senzoriomotorii, biomecanice și cognitive (Horak & Macpherson, 1996; Shumway-Cook & Woollacott, 2017).

Componentele echilibrului static și limitele stabilității

Biomecanic, stabilitatea reprezintă menținerea centrului de presiune în interiorul bazei de sprijin (Zolghadr et al., 2019). Organismul utilizează strategii precum cea a gleznei, a soldului și pasul compensator (Horak, 2006). „Limitele stabilității” descriu aria de deplasare a centrului de presiune fără schimbarea bazei de sprijin, influențată de factori musculari, articulari și senzoriali (Zolghadr et al., 2019). Distribuția contribuțiilor senzoriale la controlul postural este adaptativă, cu o pondere predominant somatosenzorială, urmată de cea vestibulară și vizuală (Peterka, 2002; Horak, 2006). Propriocepția furnizează informații despre poziția și mișcarea corpului, permițând anticiparea și corectarea erorilor motorii (Taylor, 2009; Marasco & de Nooij, 2023; Goble, 2010).

Particularități în dizabilități și direcții de reabilitare

Copiii cu dizabilități intelectuale și tulburări de coordonare prezintă frecvent deficite de echilibru asociate cu integrare senzoriomotorie deficitară și forță redusă (Carmeli et al., 2008; Eslamdost et al., 2017), ceea ce duce la întârzieri motorii și limitarea participării funcționale (Ahmadi et al., 2012). Feedback-ul proprioceptiv fragil determină erori de mișcare, rigiditate și dependență crescută de reperele vizuale (Carmeli et al., 2008; Goble, 2010), iar în TCD apar dificultăți suplimentare în corectarea erorilor de control postural (Sohrabi et al., 2016). Reabilitarea modernă utilizează antrenamente de echilibru și exerciții senzoriomotorii integrate (Zolghadr et al., 2019); programele de aproximativ 8 săptămâni pot îmbunătăți echilibrul static și dinamic la copiii cu dizabilități (Zolghadr et al., 2019; Hossaini et al., 2017), iar activitățile ludice cresc aderența la program (Pise et al., 2018; Yalfani et al., 2017).

Rolul kinetoterapiei

Echilibrul static reprezintă menținerea posturii cu oscilații minime ale centrului de greutate, rezultat al interacțiunii mecanismelor neuromusculare și senzoriale (Massion, 1994; Peterka, 2002; Shumway-Cook & Woollacott, 2017), constituind baza coordonării și a mișcărilor complexe (Epuran, 2011; Da Fonseca, 2000). La copiii cu dizabilități apar dificultăți de

stabilizare a trunchiului și dependență de feedback vizual (Assaiante et al., 2005; Westcott & Burtner, 2004). Kinetoterapia acționează simultan asupra componentelor biomecanice, senzoriale și neuromotorii, prin intervenții funcționale, progresive, fundamentate pe principiile neuroplasticității, repetitivității și feedbackului relevant (Latash, 2012; Kandel et al., 2013; Herzfeld & Shadmehr, 2014). Metodele utilizate pentru dezvoltarea propriocepției includ menținerea ortostatismului cu reducerea progresivă a bazei de sprijin (semi-tandem, tandem, unipodal), schimbarea suprafețelor de sprijin și modificarea condițiilor senzoriale (ochi deschiși/închiși, sarcini duale).

Facilitarea neuromusculară proprioceptivă stimulează proprioceptorii prin tehnici de stabilizare ritmică, rezistență adaptată și alternarea contracției agonist–antagonist, cu efecte directe asupra echilibrului static (Bastian, 2006). Reducerea sau modificarea feedbackului vizual amplifică dependența de informația proprioceptivă și intensifică activarea mecanismelor interne de control postural (Goble, 2010) — principiu exploatat direct în protocolul terapeutic al tezei. La copiii cu dizabilități intelectuale, integrarea exercițiilor în contexte ludice și funcționale crește implicarea și repetitivitatea (Pise et al., 2018; Rezaei et al., 2017).

Concluzia capitolului: educarea echilibrului static la copiii cu dizabilități neuromotorii necesită o abordare senzoriomotorie integrată, care combină antrenamentul proprioceptiv, instabilitatea controlată și suportul tehnologic, în acord cu principiile moderne ale kinetoterapiei funcționale.

CAPITOLUL IV. PSIHOMOTRICITATEA ȘI INFLUENȚA SA ASUPRA ECHILIBRULUI

Psihomotricitatea reprezintă un concept situat la intersecția dintre sfera cognitivă, afectivă și motrică a dezvoltării umane, exprimând unitatea dintre corp și psihic (Epuran, 2011; Lapierre & Aucouturier, 1984). Ea joacă un rol esențial în formarea schemei corporale, organizarea spațio-temporală și dezvoltarea echilibrului (Ajuriaguerra, 1974; Cratty, 1981) — elemente fundamentale pentru autonomie, coordonare și adaptare la mediu. La copiii cu dizabilități neuromotorii sau tulburări de dezvoltare, psihomotricitatea devine nu doar un indicator al dezvoltării, ci și o cale de abordare terapeutică (Masion, 1998; Gandevia, 2014).

Dimensiunile psihomotricității

Literatura de specialitate identifică mai multe dimensiuni interdependente ale psihomotricității, a căror dezvoltare armonioasă asigură formarea globală a copilului (Silva et al., 2018): schema corporală (reprezentarea internă a propriului corp și a relației sale cu mediul, care permite copilului să localizeze și să coordoneze segmentele corporale în mișcare, constituind baza orientării și echilibrului — Assaiante et al., 2014; Ahn, 2022; Raimo et al., 2021); lateralitatea (procesul de diferențiere funcțională a celor două emisfere cerebrale, esențial pentru organizarea spațială — o lateralitate nefixată sau mixtă poate genera dificultăți de echilibru și de orientare în spațiu — Epuran, 2011); coordonarea generală și fină (sinergia dintre sistemul nervos central și periferic, care la nivel postural se traduce prin reglarea tonusului muscular și adaptarea permanentă la solicitările mediului — Horak, 2006; Ivanenko & Gurfinkel, 2018); tonusul postural (premise oricărui act motor, reglat prin activități de stretching, cu rezistență și control al respirației — Vayer & Roncin, 1988, citați în Villerbu, 1991); și orientarea spațio-temporală (plasarea optimă a mișcării proprii într-un cadru extern — dificultățile de anticipare și sincronizare spațio-temporală duc frecvent la pierderea echilibrului și la instabilitate motorie — Assaiante, 1998). La copiii cu dizabilități neuromotorii, structura incompletă a schemei corporale conduce la dificultăți de stabilitate și coordonare, afectând atât echilibrul static, cât și cel dinamic (Assaiante & Amblard, 1995).

Mecanisme neurofiziologice și relația cu echilibrul

Din perspectivă neuroștiințifică, psihomotricitatea se bazează pe integrarea multisenzorială a informațiilor proprioceptive, vestibulare și vizuale, procesate la nivelul cerebelului, trunchiului cerebral și cortexului parietal posterior (Bosco & Poppele, 2001; Buneo & Andersen, 2006). Sistemul vestibular contribuie la orientarea în spațiu, iar sistemul proprioceptiv oferă informații

despre poziția și mișcarea segmentelor corporale (Proske & Gandevia, 2012). În cazul copiilor cu disfuncții neurologice, deficitul de integrare senzorială determină incongruențe între percepția corporală și execuția motorie (Peterka, 2002). Echilibrul este considerat componenta centrală a psihomotricității, deoarece reprezintă expresia sinergiei dintre percepție, tonus și mișcare (Massion, 1998). Controlul postural reprezintă o componentă fundamentală a dezvoltării motorii, evoluând progresiv în copilărie (Caldani et al., 2020; García-Soidán et al., 2020; Ludwig et al., 2020; Shams et al., 2020); exercițiile psihomotrice care implică balans, sprijin, rostogoliri și deplasări în planuri multiple favorizează maturizarea reflexelor posturale (Cratty, 1981). La copiii cu dizabilități, echilibrul este adesea afectat de factori multipli — hipotonie, asimetrie posturală, deficite senzoriale sau tulburări de integrare perceptivă (Horak, 2006; Gandevia, 2014) — iar intervențiile psihomotrice urmăresc restabilirea acestei integrări (Assaiante & Amblard, 1995).

În cazul copiilor cu paralizie cerebrală, tulburări din spectrul autist (TSA), ADHD sau retard psihomotor, afectarea psihomotricității se manifestă prin instabilitate posturală, dificultăți de integrare și o slabă percepție a propriului corp (Paillard, 2017). Deficitele psihomotrice nu sunt doar rezultatul unei afectări motorii, ci și al unei slabe conștientizări corporale (Maciak et al., 2024; Balayi et al., 2022; Ajuriaguerra, 1974). Cercetările confirmă eficiența intervențiilor psihomotrice în dezvoltarea echilibrului la copiii cu tulburări de coordonare și la cei cu dizabilități intelectuale (Ahmadi et al., 2012; Taghian et al., 2017), obținându-se progrese în stabilitatea dinamică și în capacitatea de orientare spațială (Granacher et al., 2011). În tulburările din spectrul autist, exercițiile de echilibru și coordonare contribuie la reducerea și reeducarea stereotipiilor (Baranek, 2002; Ellinoudis et al., 2011; Venetsanou et al., 2011; Lucas et al., 2013).

Integrarea tehnologiei în intervențiile psihomotrice moderne

Progresele recente în reabilitare au condus la apariția tehnologiilor digitale care extind posibilitățile intervențiilor psihomotrice. Platforme interactive precum MIRA, sistemele de realitate virtuală sau consolele de tip Wii Fit permit exersarea abilităților motrice într-un cadru ludic și motivant, crescând interesul copiilor pentru program (Springer & Yogev Seligmann, 2016; Moldovan et al., 2014). Prin gamificare, aceste sisteme facilitează antrenarea echilibrului și coordonării, stimulând atât motivația intrinsecă, cât și implicarea cognitivă (Huotari & Hamari, 2012). Studiile arată că exercițiile digitale de echilibru îmbunătățesc controlul postural

și stabilitatea la copii cu tulburări de coordonare și paralizie cerebrală (Farr et al., 2017), oferind totodată evaluări obiective ale progresului prin captarea mișcării (Naito et al., 2016).

Concluzia capitolului: psihomotricitatea este un pilon fundamental al dezvoltării copilului și o cheie de înțelegere a echilibrului, mai ales în contextul dizabilităților neuromotorii. Integrarea tehnologiilor interactive în terapia psihomotrică deschide noi perspective asupra reabilitării (Shumway-Cook & Woollacott, 2012), facilitând evaluări obiective și antrenamente personalizate (Lapierre & Aucouturier, 1984).

CAPITOLUL V. DEZVOLTAREA REFLEXULUI DE REDRESARE PENTRU PREVENIREA DEZECHILIBRĂRII

Reflexul de redresare este un mecanism postural automat esențial, prin care organismul își menține sau recâștigă orientarea în spațiu, în special prin alinierea capului față de trunchi, susținând postura, echilibrul și achizițiile motrice (Robănescu, 2001). La copiii cu dizabilități neuromotorii, în special în paralizia cerebrală infantilă, aceste reflexe sunt frecvent afectate prin leziuni ale sistemului nervos central, determinând „reținere în dezvoltare sau dezvoltare defectuoasă a reflexelor statochinetice” (Wang, Zhao, & Liu, 2023), cu instabilitate posturală, risc crescut de cădere, frică de mișcare și limitarea explorării și învățării.

Organizare funcțională și dezvoltare ontogenetică

Reflexele de redresare reprezintă răspunsuri posturale integrate, dependente de input vestibular, proprioceptiv, vizual și exteroceptiv, care asigură alinierea cap-trunchi (Magnus, 1924, citat în Robănescu, 2001). Redresarea statică apare precoce, în timp ce redresarea dinamică (în cădere) se dezvoltă ulterior și depinde predominant de sistemul vestibular (Pellis & Pellis, 1994), ceea ce implică faptul că evaluarea în condiții stabile poate supraestima protecția reală la dezechilibru. În dizabilitățile neuromotorii, dezvoltarea incompletă a reacțiilor de redresare și persistența reflexelor primitive reduc capacitatea de corecție automată a dezechilibrelor (Wang, Zhao, & Liu, 2023). Consecințele includ instabilitate posturală cronică și frecvență crescută a căderilor, asociate cu frică de mișcare și evitare, limitând învățarea motorie (Graham et al., 2016); deviațiile de aliniament segmentar contribuie suplimentar la risc (Graham et al., 2016; El-Shamy et al., 2019). Factorii biomecanici (deformații posturale, rigiditate, poziții patologice) pot deplasa centrul de greutate și reduce baza de sprijin (Nonnekes et al., 2018; Sturnieks, 2021; Wang, Zhao & Liu, 2023), iar căderile repetate întrețin instabilitatea (Bobath, 1990, citat în Graham et al., 2016; El-Shamy et al., 2019). Evaluarea prin analiză posturală și teste precum Scala Berg și Timed Up and Go (TUG) permite direcționarea intervenției (Robănescu, 2001; Wang, Zhao & Liu, 2023).

Intervenții kinetoterapeutice orientate spre redresare

Principiile terapiei neuroevolutive (Bobath) vizează reducerea spasticității și întreruperea tiparelor patologice prin posturi inhibitorii, cu scopul de a crea o „fereastră” în care mișcările normale și reacțiile de echilibru pot fi facilitate și exersate (Wu et al., 2024; Mohamed et al., 2025; Robănescu, 2001). Manevrarea ghidată și utilizarea punctelor-cheie de control urmăresc să moduleze distribuția tonusului și să faciliteze reacțiile posturale normale (Graham et al.,

2016; Robănescu, 2001); importanța controlului scapular și pelvin este subliniată deoarece acestea reprezintă zone prin care pot fi influențate global postura și stabilitatea trunchiului (Bobath, 1990, citat în Graham et al., 2016; Tekin & Yazar, 2025; Wu et al., 2024). Evidențele clinice recente indică efecte favorabile ale terapiei Bobath asupra echilibrului și riscului de cădere la copiii cu paralizie cerebrală spastică (Tekin & Yazar, 2025). Includerea antrenamentelor de stabilitate centrală poate potența controlul postural și coordonarea segmentară (Ali et al., 2019), iar programele de core stability și Pilates terapeutic pot contribui la creșterea timpului de menținere a posturii verticale și la reducerea oscilației posturale (Elnaggar et al., 2024).

Concluzia capitolului: dezvoltarea și antrenarea reflexelor de redresare reprezintă o direcție esențială de intervenție pentru prevenirea dezechilibrării la copiii cu dizabilități neuromotorii, iar combinarea principiilor neuroevolutive cu exerciții de stabilitate centrală și expunere controlată la instabilitate oferă un cadru terapeutic coerent.

CAPITOLUL VI. MIRA — O PARADIGMĂ INTEGRATIVĂ ÎN REABILITAREA MOTRICĂ ASISTATĂ DIGITAL

Definirea conceptului și fundamentele teoretice

Digitalizarea reabilitării neuromotorii a reconfigurat intervențiile clasice, accentuând feedbackul, repetitivitatea și participarea activă a pacientului (Holden, 2005; Takeuchi & Izumi, 2013; McGlinchey et al., 2015; Iosa et al., 2022; Johnson et al., 2022; Saposnik & Levin, 2011). MIRA (Medical Interactive Recovery Assistant) este o platformă care transformă exercițiile terapeutice convenționale în activități interactive gamificate, bazate pe captarea și analiza mișcării (Stanmore et al., 2019, 2024; Wilson et al., 2017; Zougar et al., 2022; Gharaei et al., 2021). Ea poate fi înțeleasă ca o sinteză între științele motricității și tehnologiile interactive, fundamentată pe controlul postural, neuroplasticitate, învățare motorie și gamificare (Shumway-Cook & Woollacott, 2012; Huotari & Hamari, 2012; Deci & Ryan, 2000) — nu doar un dispozitiv, ci un mediu adaptiv de reeducare motrică.

Arhitectura tehnologică și logica gamificării

MIRA este un sistem hardware-software integrat, bazat pe senzori 3D, precum Microsoft Kinect sau Orbbec, și pe un software terapeutic cu exerciții prezentate sub formă de jocuri interactive (Czakó, Silaghi & Vizitiu, 2017; Bello et al., 2017). Captura 3D detectează articulațiile și mișcările segmentare, iar parametrii cinematici sunt analizați în raport cu modele de referință, inclusiv prin algoritmi precum Dynamic Time Warping și Hidden Markov Models (Bello et al., 2017). Valoarea clinică a platformei constă în posibilitatea personalizării vitezei, amplitudinii, duratei și toleranței la eroare (Stanmore et al., 2019; Wilson et al., 2017; Zougar et al., 2022; Gharaei et al., 2021; Moldovan et al., 2014). Feedbackul vizual și auditiv imediat, scorurile și dificultatea progresivă susțin autocorectarea, persistența în sarcină și monitorizarea inclusiv la distanță (Giggins, Persson & Caulfield, 2013; Stanmore et al., 2019; Zougar et al., 2022).

Dimensiunea psihologică și aplicabilitatea pediatrică

MIRA valorifică motivația intrinsecă prin satisfacerea nevoilor de competență și autonomie, conform teoriei autodeterminării (Deci & Ryan, 2000). Gamificarea menține implicarea copilului și reduce percepția efortului, fără a diminua cerințele motrice (Huotari & Hamari, 2012). Din perspectivă neurofiziologică, recompensa și feedbackul pozitiv pot susține consolidarea circuitelor implicate în învățarea motorie (Saposnik & Levin, 2011), iar mediul controlat poate reduce anxietatea asociată activității fizice (Gallagher, 2003; Deutsch et al., 2011; Fandim et al., 2020; Giggins et al., 2013). În reabilitarea pediatrică, MIRA este relevantă

deoarece crește toleranța la repetitivitate și permite gradarea sarcinilor în funcție de profilul cognitiv și motric al copilului, fiind utilizată în paralizie cerebrală, recuperare ortopedică și tulburări de coordonare (Moldovan et al., 2014; Czakó, Silaghi & Vizitiu, 2017; Farr et al., 2017). În prevenirea căderilor, platforma susține educarea stabilității prin stimulare multisenzorială, ajustări posturale și reacții de redresare în condiții controlate (Horak, 2006; Stanmore et al., 2019; Koh et al., 2020; Fandim et al., 2020).

MIRA ca mediu de învățare motrică asistată digital

În reabilitarea pediatrică, MIRA combină eficiența exercițiului cu atractivitatea jocului (Cameirão et al., 2010; Giggins et al., 2013). Platforma utilizează senzori 3D și algoritmi de evaluare a mișcării, oferind personalizare, feedback imediat și stocarea longitudinală a performanțelor (Bello et al., 2017; Gharaei et al., 2021). În reeducarea echilibrului, ea vizează transferuri de greutate, ajustări posturale reactive și coordonare intersegmentară, iar feedbackul în timp real susține autoreglarea posturală și stabilitatea (Cameirão et al., 2010; Giggins et al., 2013; Fandim et al., 2020; Deutsch et al., 2011). Totuși, dificultățile de calibrare, influența mediului și lipsa detecției automate a mișcărilor compensatorii impun supraveghere terapeutică (MIRA Rehab Ltd., 2020; McGlinchey et al., 2015; Cameirão et al., 2010), MIRA rămânând complementară terapiei convenționale (Stanmore et al., 2019).

Validare clinică, avantaje și limitări

Datele existente indică îmbunătățiri ale funcției motorii și echilibrului după utilizarea MIRA în contexte clinice diverse (Stanmore et al., 2019; Czakó, Silaghi & Vizitiu, 2017), inclusiv creșteri ale performanței pe instrumente standardizate de echilibru și îmbunătățiri la scala pediatrică de echilibru în hemipareza spastică (Berg et al., 1992; Czakó, Silaghi & Vizitiu, 2017). Platforma oferă feedback obiectiv, monitorizare și stimulare cognitiv-afectivă, ceea ce poate crește complianța și reduce abandonul (Bello et al., 2017; Gharaei et al., 2021; Farr et al., 2017). Totuși, la deficiente severe pot apărea dificultăți de calibrare și riscul consolidării strategiilor compensatorii (Zougar et al., 2022; Gharaei et al., 2021; Springer & Yogev Seligmann, 2016). Cercetările viitoare trebuie să urmărească mai riguros relația dintre parametrii digitali, riscul de cădere și dimensiunile psihologice asociate (Stanmore et al., 2024; Koh et al., 2020; Deci & Ryan, 2000).

Sinteză metodologică și poziționarea demersului experimental

Metodologia cercetării aplicative a tezei este construită pe alegerea platformei MIRA pentru capacitatea sa de a furniza feedback obiectiv, repetitivitate controlată și gradare adaptivă a

sarcinilor, în acord cu neuroplasticitatea și învățarea motrică (Shumway-Cook & Woollacott, 2012; McGlinchey et al., 2015; Saposnik & Levin, 2011; Bello et al., 2017). Integrată cu suprafețe instabile și facilitare neuromusculară proprioceptivă, platforma este utilizată în teză ca mediu de învățare motrică asistată digital (Horak, 2006; Deci & Ryan, 2000; Huotari & Hamari, 2012; Gallagher, 2003). Designul aplicativ, cu evaluări pre- și post-intervenție, permite evidențierea efectelor unui program integrat de reeducare a echilibrului, oferind cadrul necesar testării ipotezelor privind reducerea instabilității posturale, îmbunătățirea performanței funcționale și relația dintre parametrii biomecanici și cei funcționali.

PARTEA A II-A — CERCETĂRI PROPRII PRIVIND INTERVENȚIILE KINETOTERAPEUTICE ȘI TEHNOLOGII DIGITALE INTERACTIVE

Analiza literaturii de specialitate prezentată în Partea I a evidențiat complexitatea mecanismelor implicate în menținerea echilibrului static și vulnerabilitatea acestora la copiii cu dizabilități neuromotorii, precum și faptul că metodele de intervenție existente sunt adesea aplicate fragmentar, fără o integrare coerentă a stimulării proprioceptive, a instabilității controlate și a suportului tehnologic modern. Pe baza acestor considerente, cercetarea aplicativă a fost concepută pentru a investiga impactul unui program terapeutic integrat asupra echilibrului static la elevii cu dizabilități neuromotorii, implementat în condiții reale, în mediul educațional special.

CAPITOLUL VII. STUDIU PILOT — EFICIENȚA UTILIZĂRII PLATFORMEI DIGITALE MIRA

Premise și scop

Introducerea platformei digitale de reabilitare MIRA Rehab în programul terapeutic al unei instituții de învățământ special a ridicat mai multe întrebări care au format premisele cercetării preliminare: modul în care elevii cu CES reacționează la abordările terapeutice virtuale; posibilitatea aplicării tehnicilor clasice de FNP în cadrul programelor de terapie digitală; posibilitatea inducerii unui proces de neuroplasticitate în educarea echilibrului static prin principiul „învățare prin practicare repetată”, pe fondul dezechilibrării-reechilibrării secundare pe placa Bobath; și constrângerile neuromusculare care ar putea limita eficiența recuperării echilibrului static.

Scopul studiului pilot a fost explorarea fezabilității metodologice a intervenției integrate asistate digital și observarea tendințelor inițiale de modificare a echilibrului static, anterior derulării cercetării experimentale de amploare. Cercetarea preliminară nu a urmărit validarea statistică inferențială a ipotezelor, ci testarea adecvării instrumentelor, a procedurilor de evaluare și a structurii programului terapeutic. Obiectivele au vizat verificarea aplicabilității platformei MIRA în evaluarea și antrenarea echilibrului static, evaluarea gradului de acceptare a sarcinilor interactive, observarea strategiilor de echilibrare în condiții de feedback digital și formularea unor ajustări pentru optimizarea designului experimental ulterior. Au fost formulate trei ipoteze orientative privind evaluarea obiectivă și reproductibilă a echilibrului prin MIRA, favorizarea implicării active prin exerciții interactive, și tendințele de îmbunătățire a controlului postural.

Subiecți și metodologie

În cercetarea preliminară au fost incluși 14 elevi cu cerințe educaționale speciale, din ciclul primar, dintr-o unitate de învățământ special din județul Cluj, cu vârste între 10 și 13 ani (4 fete și 10 băieți), diagnosticați cu diverse dizabilități — paralizii cerebrale, sindroame neuronale degenerative și tulburări de atenție. Criteriile de includere au vizat capacitatea de a sta în picioare independent minimum 1 minut, de a păstra o postură statică cel puțin 10 secunde, de a merge independent (cu sau fără dispozitiv de asistare) și de a menține atenția focalizată pe un monitor, la o distanță de aproximativ 1,5 m.

Evaluarea echilibrului static s-a realizat prin posturografie computerizată cu sistemul BTS P-Walk, alcătuit dintr-o platformă senzorială cu matrice de senzori de presiune, conectată la un software dedicat care permite achiziția automată a datelor stabilometrice, în condiții statice, fără pregătire prealabilă a subiectului. Analiza a vizat poziția și oscilațiile centrului de presiune în ortostatism bipodal, iar softul a permis compararea automată a valorilor obținute cu date normative incluse în baza software-ului. Implicarea activă a fost monitorizată prin trei indicatori furnizați de platforma MIRA: „Time in Exergames” (timpul total petrecut în activitățile de gamificare, exprimat în minute), „Global Active Involvement” (procentul din timpul sesiunii în care pacientul s-a mișcat efectiv) și „Correct Active Involvement” (procentul din timp în care mișcarea realizată a fost corectă, fără semnalarea unei erori de către aplicație).

Programul terapeutic a combinat exerciții de facilitare neuromusculară proprioceptivă pe placa de echilibru Bobath cu jocuri interactive de pe platforma MIRA Rehab, incluzând abducție laterală a membrelor superioare și inferioare, flexii scapulo-humerale, genuflexiuni, flexii de trunchi și mișcări controlate ale trunchiului în planurile antero-posterior și latero-lateral, cu feedback vizual oferit de platformă. Dozarea a fost standardizată la un minut pentru fiecare variantă de joc sau tip de mișcare. Evaluarea s-a realizat cu softul de posturografie BTS P-Walk, pe suprafață fixă (sol) și pe suprafață mobilă (placă de echilibru Bobath), măsurând viteza oscilațiilor centrului de presiune (CoP) și aria elipsei CoP, precum și nivelul de implicare activă (atenție și coordonare) monitorizat de platforma MIRA. Analiza statistică s-a realizat cu SPSS, folosind testul t pentru eșantioane perechi și coeficientul de corelație Pearson, pragul de semnificație fiind stabilit la $p < 0,05$.

Rezultate

Analiza descriptivă ($N = 10$) a arătat următoarele valori medii: implicarea a crescut de la 13,30 (pre-test) la 53,80 (post-test); viteza CoP pe suprafață mobilă a scăzut de la 22,00 mm/s la 10,64 mm/s; aria elipsei CoP pe suprafață mobilă a scăzut de la 1235,06 mm² la 280,95 mm². Pe

suprafață fixă, viteza CoP a scăzut de la 8,52 la 7,69 mm/s, iar aria elipsei de la 88,15 la 48,84 mm², însă aceste diferențe pe suprafață fixă nu au atins pragul de semnificație statistică.

Testul t pentru eșantioane perechi a confirmat o reducere semnificativă a vitezei CoP pe suprafață mobilă [$t(9) = 3,76$, $p = ,004$], în timp ce pe suprafață fixă diferența nu a fost semnificativă [$t(9) = 0,94$, $p = ,374$]. Aria elipsei CoP s-a redus semnificativ pe suprafață mobilă [$t(9) = 5,02$, $p = ,001$], dar nu și pe suprafață fixă [$t(9) = 1,68$, $p = ,128$]. Implicarea activă a crescut semnificativ între pre-test și post-test [$t(9) = -8,01$, $p < ,001$]. A fost identificată o corelație pozitivă semnificativă între viteza CoP și aria CoP în etapa pre-test ($r = 0,64$), corelație care nu s-a mai menținut în etapa post-test, sugerând o uniformizare a performanțelor participanților ca urmare a intervenției.

Variabilă (N=10)	Minim	Maxim	Media	Abaterea standard
Implicare pre-test	0,00	28,00	13,30	10,74
Implicare post-test	22,00	68,00	53,80	13,60
Viteza CoP pre-test mobil (mm/s)	9,30	41,70	22,00	10,52
Viteza CoP post-test mobil (mm/s)	6,10	15,60	10,64	3,26
Elipsa CoP pre-test mobil (mm ²)	401,20	2441,39	1235,06	748,95
Elipsa CoP post-test mobil (mm ²)	71,35	589,27	280,95	196,47
Viteza CoP pre-test fix (mm/s)	4,60	11,90	8,52	2,71
Viteza CoP post-test fix (mm/s)	4,30	11,80	7,69	2,52
Elipsa CoP pre-test fix (mm ²)	7,27	317,49	88,15	101,10
Elipsa CoP post-test fix (mm ²)	4,47	180,30	48,84	59,36

Tabel A. Statistici descriptive ale variabilelor de interes din studiul pilot (adaptat după Tabelul 3 al tezei)

Discuții și concluzii

Rezultatele confirmă impactul favorabil al programului terapeutic multimodal, construit pe interacțiunea dintre evaluarea stabilometrică prin sistemul BTS P-Walk și antrenamentul asistat digital prin platforma MIRA Rehab. Analizele statistice evidențiază modificări semnificative în parametrii esențiali ai controlului postural — viteza oscilațiilor CoP și aria elipsei CoP — precum și o creștere considerabilă a implicării active a participanților. Creșterea implicării active observată între etapa pre- și post-test demonstrează reorganizarea mecanismelor atenționale și consolidarea motivației intrinseci, aspect susținut de literatura recentă privind gamificarea în reabilitare, care arată că interacțiunea cu medii virtuale stimulative promovează autoreglarea comportamentală, atenția susținută și participarea activă (Burke et al., 2019;

Morelli et al., 2020). Platformele de tip gamificare amplifică motivarea și persistența în sarcină prin feedback imediat, variabilitate a exercițiilor, recompense simbolice și monitorizare vizuală a performanței (Gonçalves et al., 2021).

În ceea ce privește parametrii stabilometrici, scăderea vitezei oscilațiilor CoP și reducerea ariei elipsei CoP pe suprafața mobilă sugerează consolidarea strategiilor neuromusculare de echilibrare. Literatura specializată confirmă faptul că antrenamentele senzoriomotorii desfășurate în medii instabile stimulează integrarea informațiilor vizuale, proprioceptive și vestibulare și contribuie la dezvoltarea unor strategii posturale mai eficiente (Winter, 1995; Shumway-Cook & Woollacott, 2017). Mai multe studii evidențiază că expunerea repetată la sarcini motorii interactive crește acuratețea ajustărilor posturale și reduce variabilitatea mișcărilor compensatorii (Meldrum et al., 2015; Gatica-Rojas & Méndez-Rebolledo, 2014), aspect confirmat și de valorile stabilometrice din etapa post-test a prezentei cercetări.

Îmbunătățirile marcate pe suprafața mobilă, în contrast cu lipsa semnificației statistice pe suprafața fixă, se explică prin nivelul de solicitare diferențiat: suprafețele stabile generează o variabilitate posturală redusă și sunt mai puțin sensibile la modificări subtile ale strategiilor motorii (Prieto et al., 1996), astfel încât nivelul de provocare oferit de placa Bobath a permis evidențierea progreselor reale în mecanismele de control postural. Corelația pozitivă semnificativă dintre viteza CoP și aria CoP în etapa pre-test reflectă asocierea bine documentată dintre instabilitatea crescută și necesitatea ajustărilor posturale rapide (Palmieri et al., 2002); absența acestei corelații în etapa post-test poate fi interpretată în contextul uniformizării nivelului de performanță și reducerii variabilității interindividuale ca urmare a intervenției, fenomen descris în literatura privind adaptarea neuromusculară, unde antrenamentul repetat determină standardizarea strategiilor de control (Horak, 2006).

În ansamblu, rezultatele se înscriu în linia dovezilor internaționale care susțin eficiența platformelor digitale în reabilitarea copiilor cu dizabilități neuromotorii (Meldrum et al., 2015; Bonnechère et al., 2016), aliniindu-se la patru tendințe descrise în literatura contemporană: gamificarea crește implicarea și motivația, influențând direct eficiența antrenamentelor motorii (Barry et al., 2016; Staiano & Calvert, 2011); platformele interactive optimizează controlul postural prin feedback vizual în timp real și prin stimularea integrării senzoriale (Goble et al., 2014); antrenamentele pe suprafețe instabile induc adaptări neuromusculare rapide, îmbunătățind stabilitatea și diminuând variabilitatea CoP (Paillard, 2017); iar reabilitarea

digitală facilitează neuroplasticitatea prin sarcini ecologice, repetabile și captivante, corelate cu obiective funcționale (Lohse et al., 2014).

Cercetarea preliminară a oferit dovezi exploratorii consistente privind fezabilitatea și relevanța unui program terapeutic multimodal, construit pe utilizarea exercițiilor computerizate terapeutice furnizate de platforma MIRA Rehab și evaluarea/monitorizarea stabilometrică prin sistemul BTS P-Walk. Implementarea acestui protocol integrat a fost asociată cu modificări funcționale semnificative la nivelul controlului postural, al implicării motorii și al adaptărilor neuromusculare. Rezultatele indică o creștere substanțială a nivelului de implicare activă a participanților în sarcinile terapeutice după intervenție, susținând rolul componentelor motivaționale, gamificate și multisenzoriale în facilitarea proceselor de învățare motorie și de neuroplasticitate — implicarea crescută nefiind doar un indicator comportamental, ci putând funcționa ca factor facilitator al reorganizării neuromotorii.

Concluziile preliminare formulate au fost: (1) practicarea sistematică a exercițiilor terapeutice asistate digital este asociată cu îmbunătățiri ale controlului reactiv al echilibrului; (2) intervențiile funcționale, combinate cu FNP, par mai eficiente decât strategiile unidimensionale; (3) integrarea softurilor interactive și a suprafețelor instabile contribuie la optimizarea controlului reactiv al echilibrului; (4) viteza oscilațiilor posturale se conturează ca indicator relevant al stabilității; (5) atenția, coordonarea și implicarea activă influențează direct dobândirea stabilității în ortostatism.

Limitele studiului pilot au constat în dimensiunea redusă a eșantionului ($N = 10$), întreruperile determinate de probleme medicale specifice, dificultățile de atenție ale unor subiecți cu tulburări din spectrul autist, absenteismul și resursele curriculare limitate (maximum două ore de kinetoterapie pe săptămână, conform curriculumului național). Pe baza acestor constatări, cercetarea aplicată a tezei a urmărit extinderea eșantionului, introducerea unui grup de control, utilizarea unei baterii extinse de teste funcționale standardizate, evaluarea echilibrului dinamic prin integrarea sistemului BTS G-Walk, și utilizarea unor parametri biomecanici mai avansați — direcții care au fundamentat direct designul studiului personal prezentat în capitolul următor.

CAPITOLUL VIII. STUDIU PERSONAL — EFECTELE APLICĂRII PROGRAMULUI TERAPEUTIC INTEGRAT

Scop, ipoteze și obiective

Scopul studiului personal a fost analiza efectelor aplicării unui program terapeutic integrat asupra redresării și stabilizării posturale la elevii cu dizabilități neuromotorii, prin combinarea exercițiilor asistate digital (platforma MIRA) cu activități proprioceptive pe suprafețe instabile (placa de echilibru Bobath).

Ipoteza generală a presupus că aplicarea unui program terapeutic integrat, bazat pe facilitarea neuromusculară proprioceptivă indusă prin expunere repetată la instabilitate controlată, combinată cu intervenția asistată digital prin platforma MIRA, conduce la îmbunătățiri semnificative ale echilibrului static și controlului postural. Ipotezele secundare au fost: (H1a) programul determină o reducere semnificativă statistic a parametrilor stabilometrici ai centrului de presiune (aria elipsei CoP și deviațiile antero-posterioare și latero-laterale); (H1b) programul conduce la îmbunătățiri semnificative ale scorurilor la Mini-BESTest, Brief-BESTest și Scala Berg, reflectând transferul progresului postural către performanța funcțională.

Obiectivul general a fost evaluarea impactului programului combinat (FNP + platforma MIRA + exerciții pe placa Bobath) asupra dezvoltării echilibrului static la elevii cu dizabilități neuromotorii, prin determinarea nivelului inițial al echilibrului static, analiza modificărilor deviației centrului de presiune pe axele antero-posterior și latero-lateral, și corelarea rezultatelor biomecanice cu cele funcționale.

Design, eșantion și etape ale cercetării

Cercetarea a avut un design cvasi-experimental, de tip pre-test–post-test, cu grup experimental și grup de control, desfășurat pe parcursul anului școlar 2023–2024. Au fost evaluați 30 de subiecți — elevi cu dizabilități neuromotorii și cerințe educaționale speciale, alții decât cei din studiul pilot — distribuiți în 15 subiecți în lotul experimental (Școala Gimnazială Specială Transilvania și Centrul Special de Educație Incluzivă Cluj-Napoca) și 15 subiecți în lotul de control (Școala Gimnazială Specială „Kozmutza Flóra” Cluj-Napoca). Criteriile de eligibilitate au inclus capacitatea de a menține stabilitatea timp de 1 minut pe placa de echilibru și de a păstra o postură statică cel puțin 10 secunde; pentru lotul experimental s-au adăugat capacitatea de a păstra atenția focalizată asupra unui monitor timp de cel puțin un minut și capacitatea de a percepe și înțelege informația transmisă.

Profilul de diagnostic al participanților a fost eterogen, incluzând paralizie cerebrală, întârziere globală în dezvoltare, dizabilitate intelectuală de diverse grade (Shree & Shukla, 2016), tulburări de limbaj, tulburări din spectrul autist, ADHD, retard motor, tulburări de coordonare, hipotonie generalizată și afectări senzoriale asociate (cataractă congenitală, ambliopie, astigmatism), majoritatea participanților fiind încadrați în grad de handicap grav (Lord et al., 2020; Schalock et al., 2010). Cercetarea s-a derulat în etape: obținerea acordurilor instituționale și parentale (septembrie–octombrie 2023); evaluarea inițială (octombrie–noiembrie 2023); aplicarea programului terapeutic, succesiv, în cele trei unități de învățământ (noiembrie 2023 – februarie 2024), cu evaluare finală realizată pe parcurs, la finalul programului în fiecare instituție; și centralizarea datelor și analiza statistică (martie–iunie 2024). Programul terapeutic a inclus 10 ședințe de intervenție.

Variabila independentă a fost programul terapeutic integrat (FNP + MIRA + placa Bobath), iar variabilele dependente au vizat indicatorii stabilometrici ai centrului de presiune, scorurile la testele funcționale de echilibru și indicatorii autonomiei funcționale.

Instrumente de evaluare

Echilibrul static a fost evaluat cu sistemul de posturografie BTS P-Walk, pe suprafață fixă și pe suprafață mobilă (placa Bobath), măsurând aria elipsei CoP (95%) și deviația standard a oscilațiilor pe axele X (antero-posterior) și Y (latero-lateral) (Duarte & Freitas, 2010; Winter, 1995; Baratto et al., 2002). Echilibrul dinamic, în mers, a fost evaluat cu sistemul BTS G-Walk, care furnizează indici de simetrie pe axa OX (tilt), axa OY (obliquity) și indicele de simetrie al ciclului de mers. Suplimentar, au fost aplicate trei instrumente clinice standardizate: Brief-BESTest (6 itemi, scor 0–24), care oferă o evaluare rapidă a echilibrului funcțional (Padgett et al., 2012; Horak et al., 2009); Mini-BESTest (14 itemi, scor 0–28), care evaluează multidimensional controlul postural — anticipație, control postural reactiv, orientare senzorială și stabilitate dinamică în mers (Franchignoni et al., 2010; Horak et al., 2009; King et al., 2012); și Scala Berg / Berg Balance Scale (14 itemi, scor 0–56), care evaluează stabilitatea statică și sarcinile funcționale de bază, utilizată frecvent pentru estimarea riscului de cădere (Berg, 1989; Franjoine et al., 2010), deși sensibilitatea sa poate fi limitată de efectul de plafon (Conradsson et al., 2007; Franchignoni et al., 2010). Fiecare participant a fost testat pre-intervenție și post-intervenție. Prelucrarea statistică s-a realizat cu SPSS, folosind teste t pentru eșantioane perechi (comparații intra-grup) și teste t pentru eșantioane independente (comparații între grupuri),

precum și modele liniare mixte (Linear Mixed Models) pentru analiza scorurilor la testele clinice, cu prag de semnificație $p < 0,05$.

Variabilă dependentă	Instrument	Indicator / item	Relevanță pentru ipoteză
Echilibru static / control postural	BTS P-WALK (posturografie)	Aria elipsei CoP (95%)	Indicator principal pentru reducerea instabilității
Echilibru static / direcția instabilității	BTS P-WALK	Deviație CoP antero-posterior (AP)	Verifică reducerea oscilațiilor sagitale
Echilibru static / direcția instabilității	BTS P-WALK	Deviație CoP latero-lateral (LL)	Verifică stabilitatea frontală și simetria controlului
Echilibru funcțional global	Berg Balance Scale	Scor total (0–56)	Confirmă transferul funcțional al progresului postural
Control postural multidimensional	Mini-BESTest	Scor total (0–28)	Surprinde controlul anticipativ, reactiv, orientarea senzorială și mersul
Echilibru funcțional rapid	Brief-BESTest	Scor total (0–24)	Evidențiază schimbări globale post-intervenție, util în măsurători repetate
Intervenție (program)	Protocol terapeutic (FNP+MIRA+instabil)	Durată, frecvență, număr ședințe, dozaj	Variabila care explică schimbarea pre-post

Tabel E. Matricea de corespondență instrumente–variabile–indicatori utilizată în studiul personal (adaptat după Tabelul 16 al tezei)

Descrierea protocolului terapeutic

Programul de intervenție — tehnici FNP prin plăcile de echilibru Bobath, integrate cu platforma digitală MIRA — a fost conceput ca un demers integrativ de educare și reeducare a echilibrului, combinând exercițiile kinetoterapeutice clasice cu stimularea senzorio-motorie indusă de suprafețe instabile și feedback-ul digital. Programul a fost organizat sub forma unei succesiuni progresive de exerciții și sarcini funcționale, desfășurate atât pe suprafață stabilă, cât și pe suprafețe instabile (placă de echilibru și placă Bobath), cu o durată totală de aproximativ 45 de minute pentru fiecare ședință, alternanța condițiilor de sprijin permițând solicitarea diferențiată a mecanismelor de stabilizare posturală, de la controlul voluntar până la ajustările reactive și anticipative.

În faza inițială, exercițiile au vizat menținerea ortostatismului pe placă, bilateral și unipodal, pentru activarea musculaturii stabilizatoare și consolidarea controlului axial. Ulterior au fost introduse sarcini de echilibrare–dezechilibrare, care au solicitat ajustări posturale continue și au crescut cerințele proprioceptive. Componenta asistată digital a fost asigurată prin jocurile și mișcările presetate din platforma MIRA Rehab, fiecare joc fiind utilizat cu variante diferite de mișcare (abducție și flexie scapulo-humerală, abducție și flexie coxo-femurală, flexii de trunchi în plan frontal și sagital, fandări laterale, alternări controlate ale centrului de presiune) pentru a

menține variabilitatea sarcinii și implicarea activă a copilului. În etapa următoare, programul a fost extins prin placa de echilibru Bobath, care a introdus un nivel suplimentar de instabilitate controlată, cu rolul de a amplifica stimularea proprioceptivă și de a declanșa mecanisme de stabilizare prin co-contrație, caracteristice FNP, sub feedback-ul vizual și auditiv continuu al platformei MIRA.

Programul a inclus, de asemenea, exerciții cu caracter funcțional și aplicativ — mersul cu stabilizare pe plăcile de echilibru, prinderea și aruncarea mingii din ortostatism pe placă, schimbări de postură cu semiflexia genunchilor și exerciții de mobilitate activă a articulației coxo-femorale cu menținerea echilibrului — integrate într-un mini-traseu aplicativ, menit să faciliteze transferul achizițiilor posturale către situații apropiate de activitățile vieții cotidiene. Prin această structură, programul a permis stimularea simultană a controlului postural static și dinamic, a simetriei sprijinului și a coordonării segmentare, într-un cadru terapeutic coerent, orientat spre reorganizarea strategiilor de echilibru și consolidarea autonomiei funcționale a elevilor cu dizabilități neuromotorii.

Rezultate — parametri stabilometrici (BTS P-Walk / G-Walk)

În lotul experimental ($n = 15$), testul t pentru eșantioane perechi a evidențiat reduceri semnificative post-test față de pre-test pentru: aria elipsei CoP pe suprafață fixă [$t(14) = 2,34$, $p < ,05$]; aria elipsei CoP pe suprafață mobilă [$t(14) = 3,33$, $p < ,05$]; deviația pe axa OX pe suprafață fixă [$t(14) = 3,62$, $p < ,05$]; deviația pe axa OX pe suprafață mobilă [$t(14) = 2,65$, $p < ,05$]; deviația pe axa OY pe suprafață fixă [$t(14) = 2,63$, $p < ,05$]; și deviația pe axa OY pe suprafață mobilă [$t(14) = 5,09$, $p < ,001$]. De asemenea, indicii de simetrie au crescut semnificativ: indicele de simetrie OX (tilt) [$t(14) = -5,35$, $p < ,001$], indicele de simetrie OY (obliquity) [$t(14) = -2,22$, $p < ,05$] și indicele de simetrie al ciclului de mers [$t(14) = -3,83$, $p < ,05$]. Efectul a fost prezent atât în condiții de sprijin stabil, cât și instabil, dar mai pronunțat pe suprafața instabilă.

În lotul de control ($n = 15$), evoluția a fost inversă: valorile s-au înrăutățit semnificativ pentru elipsa mobilă [$t(14) = -2,48$, $p < ,05$], deviația OX fix [$t(14) = -2,44$, $p < ,05$], deviația OX mobil [$t(14) = -3,27$, $p < ,05$] și deviația OY fix [$t(14) = -2,67$, $p < ,05$], iar indicii de simetrie au scăzut semnificativ: OX (tilt) [$t(14) = 2,33$, $p < ,001$], OY (obliquity) [$t(14) = 2,54$, $p < ,05$] și ciclul de mers [$t(14) = 3,32$, $p < ,05$] — sugerând o tendință naturală de accentuare a instabilității în absența intervenției.

Compararea între grupuri în etapa post-test (teste t pentru eșantioane independente) a confirmat diferențe consistente în favoarea lotului experimental: elipsa fix [$t(14,25) = 3,15, p < ,05$], elipsa mobil [$t(14,74) = 3,87, p < ,05$], deviația OX fix [$t(14,41) = 4,44, p < ,05$], deviația OX mobil [$t(21,10) = 4,53, p < ,001$], deviația OY mobil [$t(16,93) = 3,54, p < ,05$], precum și indicii de simetrie OX [$t(26,51) = -2,92, p < ,05$], OY [$t(17,02) = -2,39, p < ,05$] și ciclul de mers [$t(18,35) = -3,14, p < ,05$]. Singura variabilă fără diferență semnificativă între grupuri a fost deviația pe axa OY pe suprafață fixă. Analiza mersului prin BTS G-Walk a evidențiat, în plus, o creștere a valorilor de propulsie, o reducere a variațiilor asimetrice între membrele inferioare și o diminuare a amplitudinilor excesive ale unghiurilor pelvine în etapa post-intervenție, sugerând un transfer al câștigurilor de stabilitate statică spre parametri dinamici ai mersului.

Rezultate — teste clinice standardizate

Pentru Scala Berg (Berg Balance Scale), analiza prin modele liniare mixte a arătat că efectul principal al grupului nu a fost semnificativ singur [$F = 0,463, p = ,500$], dar interacțiunea grup $\times$ timp a fost puternic semnificativă [$F = 42,593, p < ,001$], iar efectul timpului a fost de asemenea semnificativ [$F = 4,670, p = ,036$]. Scorul mediu al lotului de control a scăzut de la 2,881 la 2,400 (ușoară regresie), în timp ce scorul mediu al lotului experimental a crescut de la 2,319 la 3,276 — o creștere substanțială, care confirmă un impact diferențiat real al intervenției. Efectul itemilor a fost semnificativ [$F = 6,533, p < ,001$], reflectând diferențele de dificultate dintre sarcinile incluse în scală (Berg, 1989; Berg et al., 1992), dar fără o interacțiune triplă semnificativă cu factorul grup $\times$ timp, ceea ce indică un progres uniform și global, nu concentrat pe itemi izolați.

Pentru Mini-BESTest și Brief-BESTest, analiza a evidențiat, de asemenea, o interacțiune semnificativă grup $\times$ timp, cu creșteri clare ale scorurilor în lotul experimental față de pre-test, spre deosebire de lotul de control, unde nu s-a observat o ameliorare comparabilă. Analiza pe cei 14 itemi ai Mini-BESTest (structurați pe patru domenii — anticipare, control postural reactiv, orientare senzorială, stabilitate dinamică; Franchignoni et al., 2010; Horak et al., 2009) a arătat progrese vizibile mai ales la itemii de sprijin unipodal, corecția pasului (înainte, înapoi, lateral), poziționarea cu picioarele apropiate și ochii închiși, staționarea pe suprafață instabilă cu ochii închiși și pivotarea rapidă — în timp ce lotul de control a rămas relativ stabil sau a înregistrat ușoare regresii la unii itemi. Absența unei interacțiuni triple semnificative (grup $\times$ timp $\times$ item) indică faptul că efectul intervenției nu s-a concentrat pe componente izolate, ci a avut un caracter generalizat asupra performanței de echilibru evaluate.

Instrument / parametru	Lot experimental (pre→post)	Semnificație statistică	Lot de control (pre→post)
Elipsa CoP – suprafață fixă	Scădere	t(14)=2,34; p<,05	Fără schimbare relevantă
Elipsa CoP – suprafață mobilă	Scădere	t(14)=3,33; p<,05	Creștere; t(14)=-2,48; p<,05
Deviație OX – suprafață fixă	Scădere	t(14)=3,62; p<,05	Creștere; t(14)=-2,44; p<,05
Deviație OX – suprafață mobilă	Scădere	t(14)=2,65; p<,05	Creștere; t(14)=-3,27; p<,05
Deviație OY – suprafață fixă	Scădere	t(14)=2,63; p<,05	Creștere; t(14)=-2,67; p<,05
Deviație OY – suprafață mobilă	Scădere	t(14)=5,09; p<,001	Fără schimbare relevantă
Indice de simetrie OX (tilt)	Creștere	t(14)=-5,35; p<,001	Scădere; t(14)=2,33; p<,001
Indice de simetrie OY (obliquity)	Creștere	t(14)=-2,22; p<,05	Scădere; t(14)=2,54; p<,05
Indice de simetrie – ciclu de mers	Creștere	t(14)=-3,83; p<,05	Scădere; t(14)=3,32; p<,05
Scala Berg (scor mediu)	2,319 → 3,276	Interacțiune grup×timp F=42,593; p<,001	2,881 → 2,400

Tabel B. Sinteza rezultatelor statistice ale studiului personal, lot experimental vs. lot de control (N=30)

Domeniu Mini-BESTest	Itemi reprezentativi	Evoluție observată
I. Anticipare	Ridicare pe vârfuri; sprijin unipodal	Progres semnificativ în lotul experimental; lotul de control aproape neschimbat
II. Control postural reactiv	Corecția pasului: înainte, înapoi, lateral	Salt important de scor post-test în lotul experimental; lotul de control relativ stabil
III. Orientare senzorială	Picioare apropiate ochi deschiși/închiși; suprafață instabilă ochi închiși; rampă înclinată	Progres clar în lotul experimental; stagnare sau ușor regres în lotul de control
IV. Stabilitate dinamică	Schimbarea vitezei de mers; mers cu întoarcerea capului; pivot rapid; trecere peste obstacol; TUG cu dublă sarcină	Toți itemii cu scor post > pre în lotul experimental; lotul de control aproximativ stabil

Tabel D. Evoluția pe domenii a scorurilor Mini-BESTest, lot experimental vs. lot de control

Această analiză pe domenii confirmă faptul că intervenția a produs un efect global asupra tuturor sistemelor echilibrului evaluate de Mini-BESTest, mediile post-test ale lotului experimental fiind superioare celor din lotul de control pentru majoritatea celor 14 itemi. Absența unei interacțiuni triple semnificative (grup × timp × item) arată că efectul nu s-a concentrat pe itemi izolați, ci a avut un caracter generalizat asupra performanței de echilibru dinamic evaluate de instrument — constatare importantă, deoarece sugerează un impact global al programului terapeutic, nu doar o ameliorare punctuală pe anumite componente.

Discuții asupra rezultatelor obținute prin evaluarea stabilometrică

Stabilometria oferă un avantaj important față de evaluările clinice, deoarece permite cuantificarea obiectivă a microvariațiilor posturale, inaccesibile observației directe (Shumway-Cook & Woollacott, 2000). Rezultatele obținute pot fi interpretate, în primul rând, în termeni biomecanici: menținerea echilibrului în ortostatism presupune controlul centrului de greutate în interiorul bazei de sprijin, prin ajustări fine realizate la nivelul articulațiilor și al musculaturii stabilizatoare, iar reducerea oscilațiilor posturale observată în lotul experimental sugerează o eficientizare a acestor ajustări și o capacitate crescută de stabilizare a corpului în raport cu gravitația (Nashner & Peters, 1990; Peterka, 2002), reflectând o organizare mai coerentă a strategiilor de la nivelul gleznei și șoldului.

Din perspectivă neurofiziologică, stabilitatea posturală depinde de integrarea informațiilor provenite din sistemele vizual, vestibular și proprioceptiv, iar sistemul nervos central utilizează aceste informații pentru a genera răspunsuri corective rapide. La elevii cu dizabilități neuromotorii, literatura evidențiază frecvent dificultăți în această integrare senzorială, manifestate prin oscilații posturale crescute (Harkness-Armstrong et al., 2023); îmbunătățirea parametrilor stabilometrici sugerează, așadar, o optimizare a proceselor de integrare senzorială și o creștere a eficienței răspunsurilor posturale. Un element central al interpretării îl constituie adaptarea observată în condiții de sprijin instabil: menținerea echilibrului în astfel de situații implică o solicitare crescută a mecanismelor de control postural, iar îmbunătățirea performanței în aceste condiții indică o capacitate crescută de adaptare și o eficiență mai mare a mecanismelor de redresare posturală, confirmând că dezechilibrările controlate sunt stimuli eficienți pentru antrenarea răspunsurilor de stabilizare (Yoshida et al., 2022).

Creșterea indicilor de simetrie observată în lotul experimental oferă informații suplimentare despre organizarea controlului postural: o distribuție echilibrată a sprijinului între hemicorpurile reflectă o coordonare mai bună a segmentelor corporale și o aliniere posturală mai eficientă (Massion, 1998; Epuran, 2011), esențială pentru execuția mișcărilor funcționale și pentru reducerea strategiilor compensatorii care, pe termen lung, pot conduce la ineficiență motorie și suprasolicitare segmentară. Din perspectiva proceselor de învățare motorie, rezultatele pot fi explicate prin mecanismele de neuroplasticitate: repetiția motrică ghidată și expunerea la sarcini variate conduc la consolidarea conexiunilor neuronale implicate în controlul postural și la automatizarea răspunsurilor motorii (Costanzo et al., 2016; Berlot et al., 2021; Sattelmayer et al., 2016), proces deosebit de relevant în populațiile cu afectare neuromotorie, unde aceste procese sunt adesea perturbate.

Un aspect important îl reprezintă legătura dintre stabilitatea posturală și funcționalitatea cotidiană: stabilitatea în ortostatism este necesară pentru menținerea poziției în clasă, realizarea transferurilor, deplasarea în mediul școlar sau manipularea obiectelor, iar reducerea oscilațiilor posturale poate reduce consumul energetic și crește toleranța la activitate (Shumway-Cook & Woollacott, 2017). Integrarea rezultatelor stabilometrice cu cele obținute prin instrumentele clinice oferă o imagine completă asupra efectelor intervenției: dacă testele clinice reflectă performanța funcțională în sarcini specifice, stabilometria evidențiază mecanismele fine care stau la baza acestei performanțe, uneori înainte ca acestea să fie evidente clinic (Massion, 1998; Epuran, 2011). În contrast, lipsa unor modificări relevante în lotul de control evidențiază faptul că adaptările observate în lotul experimental nu sunt rezultatul familiarizării cu testarea sau al evoluției naturale, ci sunt dependente de intervenția aplicată.

Discuții asupra rezultatelor obținute prin Berg Balance Scale

Rezultatele obținute prin Scala Berg evidențiază un efect semnificativ al intervenției asupra echilibrului funcțional, susținut de evoluția diferențiată a celor două grupuri și de interacțiunea semnificativă dintre factorii grup și timp. Importanța acestor rezultate devine mai clară în raport cu structura scalei, care include 14 sarcini funcționale apropiate de solicitările vieții cotidiene — menținerea ortostatismului, transferurile posturale, controlul trunchiului, schimbările de direcție, rotațiile și sarcinile în condiții de sprijin redus (Berg, 1989; Berg et al., 1992) — astfel încât îmbunătățirea scorurilor nu reflectă doar o performanță mai bună la evaluare, ci sugerează o optimizare a unor mecanisme funcționale fundamentale.

Un aspect important al interpretării îl reprezintă caracterul uniform al progresului la nivelul itemilor scalei: absența unor diferențe selective semnificative sugerează că intervenția nu a influențat doar o componentă izolată a echilibrului, ci a produs o îmbunătățire globală a controlului postural, în concordanță cu modelele contemporane care descriu echilibrul ca sistem integrat (Horak, 2006; Mancini & Horak, 2010; Ivanenko & Gurfinkel, 2018). Itemii care implică menținerea echilibrului în condiții de sprijin redus (ortostatism cu picioarele apropiate, poziția tandem, sprijinul unipodal) sunt deosebit de relevanți pentru evaluarea stabilității posturale de bază, iar progresul la aceste sarcini sugerează o optimizare a controlului fin al centrului de greutate (Bell, 1998; Shumway-Cook & Woollacott, 2012). În același timp, progresul la sarcinile mai complexe (transferuri, rotații, ridicarea unui obiect de pe sol) reflectă integrarea controlului postural în contexte funcționale apropiate de viața de zi cu zi, cu

implicații directe asupra autonomiei funcționale și a participării active în mediul școlar și familial.

Deși literatura semnalează limitări ale scalei Berg, în special posibilitatea unui efect de plafon la persoanele cu nivel funcțional mai ridicat (Conradsson et al., 2007; Franchignoni et al., 2010), detectarea unor îmbunătățiri semnificative în prezenta cercetare sugerează că intervenția a avut o intensitate și o eficiență suficiente pentru a produce modificări observabile chiar și cu un instrument considerat uneori mai puțin sensibil la schimbări subtile. Validitatea și utilitatea clinică a scalei Berg sunt bine documentate atât în populațiile neurologice adulte, cât și în cele pediatrice (Berg, 1989; Berg et al., 1992; Franjoine et al., 2010; Donker et al., 2007).

Discuții asupra rezultatelor obținute prin Mini-BESTest și Brief-BESTest

Rezultatele obținute prin Mini-BESTest evidențiază un efect semnificativ al intervenției asupra controlului postural, confirmat de evoluția diferențiată a celor două grupuri. Mini-BESTest are o valoare deosebită în interpretarea rezultatelor deoarece permite evaluarea multidimensională a echilibrului — control anticipator, răspunsuri reactive, orientare senzorială și stabilitate dinamică în mers (Franchignoni et al., 2010; Horak et al., 2009) — depășind evaluarea echilibrului ca simplă menținere a poziției și oferind o perspectivă integrativă asupra modului în care sistemul nervos organizează și adaptează răspunsurile posturale în contexte variate.

Componenta anticipativă are o semnificație funcțională directă, fiind implicată în sarcini precum ridicarea din șezut, inițierea mersului sau schimbarea poziției; atunci când aceste mecanisme se optimizează, mișcarea este pregătită mai eficient, riscul de dezechilibru scade, iar fluenta execuției crește (Mancini & Horak, 2010). Răspunsurile reactive contribuie, la rândul lor, la stabilitatea statică prin limitarea deviațiilor posturale, iar orientarea senzorială reflectă o integrare mai eficientă a informațiilor vizuale, vestibulare și proprioceptive (Horak, 2006; Peterka, 2002). Stabilitatea dinamică în mers reprezintă componenta cu cel mai evident transfer către activitățile vieții zilnice, sugerând o capacitate crescută de deplasare autonomă și o dependență redusă de asistență externă în mediul școlar și familial.

Un element central al interpretării îl constituie caracterul global al îmbunătățirii: absența unei interacțiuni semnificative între grup, timp și itemi sugerează că intervenția a determinat o reorganizare funcțională generalizată a controlului postural, susținând modelul echilibrului ca sistem integrat, în care componentele senzoriale, motorii și cognitive funcționează interdependent (Ivanenko & Gurfinkel, 2018).

Brief-BESTest, ca versiune prescurtată a Mini-BESTest, păstrează capacitatea de a evalua principalele dimensiuni ale controlului postural într-un format sintetic, util în măsurători repetate (Padgett et al., 2012). Creșterea scorurilor în lotul experimental, coroborată cu corelația puternică dintre Brief-BESTest și Mini-BESTest raportată în literatură (Padgett et al., 2012; King et al., 2012), susține consistența rezultatelor și indică faptul că intervenția a produs efecte coerente asupra echilibrului, detectabile atât prin evaluări detaliate, cât și prin instrumente sintetice. Din perspectiva activităților vieții zilnice, îmbunătățirile evidențiate de Brief-BESTest pot fi asociate cu o creștere a siguranței în realizarea sarcinilor de rutină, cu o mai bună stabilitate în situații dinamice și cu o reducere a necesității de suport extern. Cercetările privind intervențiile asistate digital indică faptul că sarcinile interactive și solicitările variate pot îmbunătăți controlul postural dinamic și coordonarea motorie prin stimularea ajustărilor rapide și a integrării senzoriale (Leddy et al., 2017; King et al., 2012; Meseguer-Henarejos et al., 2025), rezultatele din prezentul studiu fiind compatibile cu această perspectivă.

Concluziile capitolului

Integrarea testelor clinice standardizate cu posturografia computerizată și cu indicatorii MIRA a oferit o perspectivă comprehensivă asupra echilibrului, coordonării și controlului postural la copiii cu dizabilități neuromotorii (Shumway-Cook & Woollacott, 2017), permițând identificarea fină a domeniilor deficitare, monitorizarea obiectivă a progresului și fundamentarea recomandărilor terapeutice pe o bază metodologică multimodală. Programul terapeutic integrat (MIRA + FNP + instabilitate controlată pe placa Bobath) a fost asociat cu îmbunătățiri semnificative ale controlului postural și echilibrului funcțional, confirmate atât prin reducerea oscilațiilor CoP și îmbunătățirea simetriei posturale și a mersului, cât și prin progresele convergente la testele clinice standardizate. Interacțiunile grup $\times$ timp semnificative, în favoarea grupului experimental, susțin asocierea directă a acestor efecte cu intervenția aplicată, iar caracterul relativ uniform al progresului sugerează o reorganizare integrată a strategiilor posturale, și nu ameliorarea izolată a unei singure componente.

CAPITOLUL IX. CONCLUZII GENERALE

Concluzii raportate la obiective și ipoteze

În raport cu obiectivul de evaluare a modificărilor biomecanice ale controlului postural, rezultatele stabilometrice au indicat reduceri semnificative ale amplitudinii și vitezei oscilațiilor centrului de presiune, evidențiind o îmbunătățire a stabilității posturale după finalizarea programului terapeutic. În raport cu obiectivul de evaluare funcțională, scorurile la testele standardizate au înregistrat creșteri semnificative post-intervenție. În raport cu obiectivul de corelare a rezultatelor biomecanice și funcționale, analiza a evidențiat relații pozitive între îmbunătățirea parametrilor stabilometrici și performanța funcțională, confirmând caracterul complementar al celor două tipuri de evaluare.

Toate cele trei ipoteze ale cercetării au fost confirmate: Ipoteza 1, privind îmbunătățirea semnificativă a parametrilor biomecanici ai controlului postural; Ipoteza 2, privind creșterea semnificativă a scorurilor funcționale de echilibru static; și Ipoteza 3, privind existența unor corelații pozitive între parametrii stabilometrici și performanța funcțională.

Concluzie sintetică finală

Teza a investigat posibilitățile de educare și optimizare a echilibrului static și a controlului postural la copiii cu dizabilități neuromotorii, printr-un program kinetoterapeutic integrat care combină facilitarea neuromusculară proprioceptivă, expunerea progresivă la instabilitate și tehnologiile digitale interactive, fundamentat teoretic pe conceptele de control postural, psihomotricitate și neuroplasticitate.

Studiul pilot a demonstrat că integrarea gamificării terapeutice asistate digital într-un program kinetoterapeutic complex este fezabilă și bine tolerată, nivelul crescut de implicare activă susținând rolul componentelor motivaționale și multisenzoriale în facilitarea învățării motorii (Herzfeld & Shadmehr, 2014). Studiul personal, cu design cvasi-experimental și grup de control, a confirmat aceste tendințe la scară mai mare: progresele biomecanice (reducerea oscilațiilor CoP, creșterea simetriei posturale și a mersului) s-au tradus în îmbunătățiri funcționale semnificative (Scala Berg, Mini-BESTest, Brief-BESTest), susținute de interacțiuni statistice grup $\times$ timp robuste, atribuibile intervenției și nu unor variații naturale sau efecte de testare repetată (Franchignoni et al., 2010).

Analiza parametrilor stabilometrici a evidențiat îmbunătățiri semnificative ale controlului postural în condiții de instabilitate, reflectate prin reducerea vitezei oscilațiilor centrului de

presiune și a ariei elipsei CoP. Aceste rezultate sugerează o optimizare a strategiilor posturale reactive și anticipative, precum și o recalibrare funcțională a mecanismelor senzorio-motorii implicate în menținerea echilibrului static. Diferențele mai pronunțate înregistrate pe suprafețele instabile confirmă relevanța acestora ca mediu de evaluare și antrenament pentru evidențierea progresului postural. Progresele biomecanice observate s-au tradus în îmbunătățiri funcționale semnificative, evidențiate prin creșterea scorurilor obținute la Scala Berg: elevii din grupul experimental au demonstrat o capacitate crescută de a realiza transferuri, de a menține posturi statice și dinamice și de a executa activități funcționale cotidiene, iar interacțiunea semnificativă grup $\times$ timp confirmă faptul că aceste îmbunătățiri sunt atribuibile intervenției asistate digital.

Rezultatele Mini-BESTest indică o optimizare globală a mecanismelor de integrare multisenzorială, reflectată prin performanțe superioare în condiții de solicitare senzorială crescută, precum reducerea sprijinului vizual, utilizarea suprafețelor instabile sau sarcinile dinamice (Shumway-Cook & Woollacott, 2017). Absența interacțiunilor semnificative cu factorul „item” sugerează un progres uniform și coerent, caracteristic recalibrării adaptative a ponderilor senzoriale, mecanism central al controlului postural eficient — în acest context, intervenția prin MIRA a funcționat ca un mediu multisenzorial complex, în concordanță cu literatura despre gamificare (Bonnechère et al., 2016). Rezultatele Brief-BESTest demonstrează, la rândul lor, o reducere semnificativă a riscului intrinsec de cădere, prin consolidarea strategiilor posturale reactive și a mecanismelor de restabilire rapidă a echilibrului, progresele uniforme pe itemi confirmând o reorganizare funcțională globală a răspunsurilor posturale de protecție, aspect susținut de studiile privind prevenirea căderilor prin tehnologii interactive (Verhoeven et al., 2020; Stanmore et al., 2019).

Îmbunătățirile motorii obținute se reflectă direct în creșterea autonomiei funcționale și a participării copiilor la activități educaționale și sociale. Capacitatea de deplasare independentă, menținerea posturilor funcționale și siguranța în mișcare constituie factori esențiali ai incluziunii școlare, autonomia motrică fiind recunoscută în literatura educațională ca predictor important al participării și integrării în mediul școlar (Florian & Black-Hawkins, 2011). Caracterul ludic al intervenției, feedback-ul vizual imediat și progresia gradată a sarcinilor au generat un nivel ridicat de implicare și motivație, factori esențiali pentru consolidarea învățării motorii și a proceselor neuroplastice; observațiile clinice confirmă faptul că gamificarea facilitează angajarea voluntară, reduce anxietatea față de eșec și susține repetitivitatea funcțională (Sween et al., 2017).

Implementarea intervenției a demonstrat fezabilitatea utilizării platformei MIRA în mediul educației speciale, prin adaptabilitate ridicată, ușurință în utilizare, monitorizare obiectivă a progresului și acceptare crescută din partea elevilor și a cadrelor didactice, extinzând dovezile existente privind aplicabilitatea MIRA în context pediatric și educațional, nu doar clinic (Verhoeven et al., 2020). Triangularea evaluărilor instrumentale și clinice a permis o analiză comprehensivă a controlului postural, crescând validitatea concluziilor: datele biomecanice au furnizat obiectivitate și precizie, în timp ce testele clinice au asigurat relevanța funcțională și interpretativă, integrarea acestora reprezentând o contribuție importantă pentru aplicarea kinetoterapiei pediatrice.

Contribuția principală a tezei constă în fundamentarea și validarea unui model metodologic integrat de intervenție, care utilizează platforma MIRA ca mediu de învățare motrică asistată digital, în complementaritate cu tehnicile kinetoterapeutice consacrate, permițând cuantificarea obiectivă a progresului, creșterea aderenței la program și facilitarea transferului funcțional al achizițiilor posturale către autonomia și participarea educațională a elevilor cu dizabilități neuromotorii.

Limitele studiului

Limitele cercetării trebuie interpretate în contextul specific al reabilitării pediatrice aplicate în educația specială, fără a diminua validitatea concluziilor formulate, ci contribuind la delimitarea cadrului metodologic în care au fost obținute datele. Literatura de specialitate subliniază constant faptul că intervențiile asistate digital și cercetările realizate pe populații cu dizabilități neuromotorii sunt marcate de constrângeri clinice, etice și organizaționale, care limitează controlul strict al variabilelor și dimensiunea eșantioanelor investigate (Deutsch & Westcott, 2017; Verhoeven et al., 2020; Koh et al., 2020).

O primă limitare este dimensiunea eșantionului ($N = 30$, distribuit în grup experimental și grup de control), care restrânge generalizarea rezultatelor, cu atât mai mult cu cât eșantionul a prezentat o heterogenitate funcțională ridicată — niveluri diferite de afectare neuromotorie, autonomie, control postural, atenție și motivație, caracteristică frecvent întâlnită în mediul școlilor speciale (Shumway-Cook & Woollacott, 2017), dar care poate amplifica variabilitatea scorurilor și poate masca diferențe subtile de răspuns la intervenție. Deși utilizarea modelelor liniare mixte a permis valorificarea măsurilor repetate și controlul variației interindividuale prin includerea efectelor aleatorii, un eșantion mai numeros ar fi crescut puterea statistică și

stabilitatea estimărilor; o stratificare mai riguroasă a participanților pe niveluri de funcționare ar putea facilita, în studii viitoare, identificarea unor efecte diferențiale ale intervenției.

O a doua limitare privește durata intervenției — 10 ședințe, interval suficient pentru evidențierea unor modificări semnificative, dar relativ scurt în raport cu procesele de consolidare neuroplastică pe termen lung (Kandel et al., 2013; Verhoeven et al., 2020); studiul nu a inclus evaluări de tip follow-up (de exemplu la 1–3 luni), ceea ce limitează aprecierea persistenței progreselor și diferențierea efectelor tranzitorii de cele consolidate, aspect pentru care literatura recomandă includerea evaluărilor longitudinale în contextul gamificării terapeutice (Bonnechère et al., 2016). O a treia limitare vizează instrumentele de evaluare: testele clinice standardizate includ o componentă observațională ce poate fi influențată de variabilitatea scorării evaluatorului, chiar în condițiile respectării protocoalelor standard (Franchignoni et al., 2010), iar parametri biomecanici avansați (vectori direcționali ai oscilațiilor, indicatori temporali sau de variabilitate) nu au fost integrați în analiza principală, deși tehnologiile utilizate (MIRA și BTS) permit extragerea acestora.

O a patra limitare derivă din contextul natural al intervenției: desfășurarea programului în mediul educației speciale crește validitatea ecologică a rezultatelor, dar limitează controlul variabilelor externe, precum programul școlar, variațiile zilnice ale stării de oboseală, nivelul emoțional sau factorii contextuali specifici mediului educațional (Florian & Black-Hawkins, 2011). Variabilitatea motivațională rămâne, de asemenea, un factor dificil de controlat; deși gamificarea reduce fluctuațiile prin caracterul ludic și feedback-ul imediat, implicarea participanților poate fi influențată de dispoziția zilnică, oboseală sau relația cu terapeutul (Sween et al., 2017). Rezultatele nu pot fi extrapolate automat către alte categorii de dizabilități (de exemplu tulburări din spectrul autist fără componentă motorie relevantă sau deficiențe senzoriale primare), fiind necesară validarea intervenției pe populații distincte. În plan analitic, deși modelele liniare mixte au permis testarea riguroasă a efectelor grupului, timpului și interacțiunilor, nu au fost explorate modele predictive sau analize de tip mediator/moderator, ceea ce limitează identificarea factorilor individuali care determină magnitudinea răspunsului la intervenție.

În sinteză, limitările identificate sunt inerente cercetărilor aplicate în reabilitarea pediatrică și în educația specială și nu afectează concluziile principale ale tezei, dar indică necesitatea extinderii eșantioanelor și a stratificării funcționale, introducerii evaluărilor de follow-up, aprofundării analizei biomecanice, includerii unor analize predictive și validării intervenției pe

populații și contexte diverse, în acord cu recomandările formulate în literatura de specialitate (Bonnechère et al., 2016; Shumway-Cook & Woollacott, 2017; Deutsch & Westcott, 2017).

CAPITOLUL X. CONTRIBUȚII ORIGINALE ALE TEZEI

Teza aduce contribuții originale cu relevanță teoretică, metodologică, empirică și aplicativă, la confluența dintre neuroștiințe, kinetoterapie, tehnologii digitale și pedagogie specială. Originalitatea demersului constă în integrarea coerentă a platformei digitale interactive MIRA într-un protocol de intervenție kinetoterapeutică destinat copiilor cu dizabilități neuromotorii, corelat cu evaluări clinice validate și cu analize biomecanice obiective realizate în context educațional real.

Din perspectivă teoretică, teza propune un model conceptual integrat al reabilitării asistate digital, care articulează principiile neuroplasticității, teoriile contemporane ale învățării motorii bazate pe feedback și practică variabilă (Herzfeld & Shadmehr, 2014), mecanismele de integrare multisenzorială implicate în controlul postural, precum și rolul motivației și al implicării active în intervențiile destinate copiilor cu cerințe educaționale speciale (Deci & Ryan, 2000) — o contribuție originală în literatura românească de specialitate, unde abordările digitale sunt rareori analizate dintr-o perspectivă teoretică sistemică.

La nivel metodologic, teza aduce o contribuție relevantă prin implementarea unui design de evaluare triangulat, care combină evaluarea biomecanică obiectivă prin posturografie computerizată (MIRA și BTS P-Walk) cu evaluarea clinică funcțională a echilibrului prin Berg Balance Scale, evaluarea multisistemică a controlului postural prin Mini-BESTest și estimarea riscului de cădere prin Brief-BESTest. Această combinație, rar utilizată în studiile pediatrice desfășurate în mediul educației speciale, demonstrează fezabilitatea și valoarea utilizării unor instrumente complementare pentru obiectivarea progresului motor, depășind limitările abordărilor exclusiv observaționale sau exclusiv instrumentale.

Din punct de vedere empiric, rezultatele studiului personal oferă dovezi solide privind eficiența intervenției asistate digital în educarea echilibrului și reorganizarea controlului postural. Datele obținute indică reducerea oscilațiilor posturale, îmbunătățirea simetriei sprijinului, consolidarea strategiilor anticipative și reactive și creșterea stabilității pe suprafețe fixe și instabile. Prin corelarea parametrilor biomecanici cu scorurile obținute la testele clinice, teza demonstrează transferul real al progreselor către activitățile vieții cotidiene, aspect insuficient documentat în literatura existentă asupra gamificării terapeutice pediatrice. În acest sens, lucrarea extinde domeniul de aplicare al platformei MIRA către reabilitarea pediatrică desfășurată în mediul școlar.

O contribuție aplicativă majoră constă în elaborarea unui protocol terapeutic structurat, adaptat specificului școlilor speciale, conceput pentru a fi integrat în programul educațional fără a perturba dinamica instituțională. Protocolul propus este replicabil și oferă un cadru practic pentru utilizarea intervențiilor asistate digital în combinație cu metodele kinetoterapeutice clasice. Totodată, teza fundamentează utilizarea terapiei interactive asistate digital — gamificarea — nu doar ca instrument terapeutic, ci și ca instrument pedagogic complementar, capabil să crească motivația, implicarea activă și autonomia elevilor, contribuind astfel la procesul de incluziune educațională (Florian & Black-Hawkins, 2011). Prin amploarea și coerența sa, lucrarea se numără printre puținele cercetări realizate în România care analizează sistematic intervențiile asistate digital în reabilitarea pediatrică desfășurată în mediul școlar, modelul metodologic propus oferind un reper pentru cercetări viitoare.

Direcții viitoare de cercetare

Direcțiile viitoare de cercetare vizează: extinderea către studii multicentrice, prin includerea mai multor școli speciale, centre de reabilitare și instituții academice, pentru creșterea dimensiunii eșantioanelor, sporirea validității externe și analiza influenței factorilor instituționali și contextuali asupra eficienței intervenției; utilizarea unor designuri experimentale randomizate controlate, considerate standardul de aur în evaluarea intervențiilor terapeutice, pentru compararea directă între intervențiile asistate digital, kinetoterapia convențională, abordările combinate și grupurile de control; introducerea evaluărilor longitudinale de tip follow-up, realizate la intervale de timp după finalizarea intervenției, pentru analiza stabilității progreselor, a retenției strategiilor posturale și a impactului pe termen lung asupra autonomiei funcționale, în acord cu literatura privind neuroplasticitatea, care subliniază importanța consolidării achizițiilor prin menținerea stimulării funcționale (Kandel et al., 2013); aprofundarea analizei biomecanice a controlului postural prin parametri avansați, precum vectorii direcționali ai centrului de presiune, latența reacțiilor posturale, variabilitatea temporală a oscilațiilor sau strategiile predominante de control postural; personalizarea intervențiilor asistate digital în funcție de profilul funcțional individual, nivelul de afectare neuromotorie și răspunsul la intervenție, folosind progresul anterior ca predictor al evoluției; explorarea combinațiilor optime între kinetoterapia clasică, facilitarea neuromusculară, gamificarea și alte metode senzorio-motorii; integrarea tehnologiilor emergente, precum realitatea virtuală și realitatea augmentată, care pot permite simularea unor contexte funcționale realiste și expunerea graduală la situații provocatoare, oferind un grad ridicat de imersiune și motivație în mediul educației speciale; și, nu în ultimul rând, dezvoltarea unui model național de

implementare a reabilitării asistate digital în școlile speciale, aliniat strategiilor europene privind digitalizarea educației și accesibilizarea intervențiilor pentru grupurile vulnerabile.

Implicații practice și educaționale

Rezultatele tezei oferă un suport științific solid pentru integrarea intervențiilor asistate digital în practica terapeutică și educațională. Platforma MIRA s-a dovedit eficientă în stimularea controlului postural, a echilibrului funcțional și a mecanismelor anticipative și reactive, reprezentând o alternativă modernă și adaptabilă la intervențiile convenționale. În practica de reabilitare pediatrică, utilizarea intervențiilor asistate digital permite individualizarea sarcinilor motorii în funcție de nivelul funcțional al copilului, creșterea intensității și variabilității antrenamentului postural și monitorizarea obiectivă a progresului prin parametri biomecanici, facilitând transferul achizițiilor motrice către activitățile funcționale cotidiene și susținând luarea deciziilor terapeutice bazate pe date obiective — fără a înlocui metodele tradiționale, ci completându-le într-un cadru multimodal, coerent și orientat funcțional.

În contextul educației speciale, rezultatele tezei susțin integrarea tehnologiilor digitale interactive ca suport pentru dezvoltarea autonomiei motrice și a participării școlare. Îmbunătățirea echilibrului și a controlului postural influențează direct capacitatea elevilor de a participa activ la activitățile curriculare, de a se deplasa independent și de a menține posturi funcționale adecvate în mediul educațional, iar utilizarea platformei MIRA contribuie la reducerea barierelor motrice, crește implicarea elevilor în activități terapeutice și educative și facilitează colaborarea interdisciplinară între profesori, kinetoterapeuți și alți specialiști în educație specială. Rezultatele cercetării evidențiază, de asemenea, necesitatea adaptării programelor de formare inițială și continuă a specialiștilor din domeniul reabilitării și educației speciale: integrarea tehnologiilor digitale terapeutice presupune dezvoltarea competențelor digitale, a capacității de interpretare a datelor biomecanice și a abilităților de personalizare a intervențiilor în funcție de profilul individual al copilului, motiv pentru care teza susține includerea gamificării și a evaluărilor instrumentate în curricula de formare, precum și elaborarea unor ghiduri de bune practici pentru utilizarea acestora în mediul educațional.

Considerații reflexive asupra demersului de cercetare

Demersul doctoral a depășit obiectivul strict al validării ipotezelor experimentale, constituindu-se într-un proces de consolidare a unei perspective științifice mature asupra reabilitării pediatrice, în care rigoarea metodologică este permanent corelată cu complexitatea realității clinice și educaționale. Interacțiunea sistematică cu elevii cu dizabilități neuromotorii a

evidențiat că intervenția terapeutică nu poate fi redusă la corectarea unor deficite izolate, ci trebuie înțeleasă ca un proces dinamic de reorganizare neuromotorie, integrare senzorială și reconstrucție a relației dintre copil, mișcare și mediu. Observațiile calitative realizate pe parcursul intervenției — creșterea încrederii în propriul corp, reducerea comportamentelor de evitare a mișcării, intensificarea implicării active — susțin ideea că reabilitarea motorie eficientă include, pe lângă dimensiunea biomecanică, o componentă motivațională și psiho-educțională esențială, în special în lucrul cu copiii cu dizabilități neuromotorii.

BIBLIOGRAFIE

Lista de mai jos include doar referințele citate efectiv în acest rezumat (209 titluri), în ordine alfabetică, format APA (ediția a 6-a).

- Afrooz, G. A. (2013). Education and special education in cross-cultural perspective: the Islamic Republic of Iran. In *Education and disability in cross-cultural perspective* (pp. 93-125). Routledge.
- Ahmadi, R., Daneshmandi, H., & Barati, A. H. (2012). Efectul unui program de antrenament de 6 săptămâni pentru stabilitatea trunchiului asupra echilibrului la elevii cu retard mintal (în persană). *International Journal of Sport Studies*, 2(10), 496-501.
- Ajuriaguerra, J. de. (1974). *Manuel de psychiatrie de l'enfant*. Paris: Masson.
- Ali, M. S., Elbanna, M. F., & Abd El-Kafy, E. M. (2019). Effect of core stability training on postural control and balance in children with spastic cerebral palsy. *Journal of Musculoskeletal & Neuronal Interactions*, 19(2), 189–195.
- American Psychiatric Association. (2022). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed., text rev.). American Psychiatric Publishing.
- Anderson, K., & Behm, D.G. (2005). The Impact of Instability Resistance Training on Balance and Stability. *Sports Med* 35, 43–53 <https://doi.org/10.2165/00007256-200535010-00004>
- Assaiante, C., & Amblard, B. (1995). An ontogenetic model for the sensorimotor organization of balance control in humans. *Human Movement Science*, 14(1), 13–43.
- Assaiante, C., Mallau, S., Viel, S., Jover, M., & Schmitz, C. (2005). Development of postural control in healthy children: a functional approach. *Neural plasticity*, 12(2-3), 109–272. <https://doi.org/10.1155/NP.2005.109>
- Balayi, E., Sedaghati, P., & Ahmadabadi, S. (2022). Effects of neuromuscular training on postural control of children with intellectual disability and developmental coordination disorders. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 23, 631. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-05569-2>
- Baranek, G. T. (2002). Efficacy of sensory and motor interventions for children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 32(5), 397–422.
- Baratto, L., Morasso, P. G., Re, C., & Spada, G. (2002). A new look at posturographic analysis in the clinical context: Sway-density versus other parameterization techniques. *Motor Control*, 6(3), 246–270.
- Barnhart, R. C., Davenport, M. J., Epps, S. B., & Nordquist, V. M. (2003). Developmental coordination disorder. *Physical Therapy*, 83(8), 722–731. <https://doi.org/10.1093/ptj/83.8.722>
- Barry, G., Galna, B., & Rochester, L. (2016). The role of exergaming in improving physical and cognitive function in older adults: A systematic review. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 13, Article 33. <https://doi.org/10.1186/s12984-016-0156-1>
- Bastian, A. J. (2006). Learning to predict the future: The cerebellum adapts feedforward movement control. *Current Opinion in Neurobiology*, 16(6), 645–649. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2006.08.016>
- Beaumont Health. (2024). Balance disorders. <https://www.beaumont.org/conditions/balance-disorders> , accesat în 21 mai, 2025
- Bell, F. (1998). *Principles of mechanics and biomechanics*. Nelson Thornes, ch 4, pp 26-45. <https://books.google.ro/books?id=bPcPnZQ36KwC>
- Bello, F., Haghighi Osgouei, R., & Soulsby, D. (2017). An objective evaluation method for rehabilitation exergames. *IEEE E-Health and Bioengineering Conference (EHB)*, 267–270. <https://doi.org/10.1109/EHB.2017.7995454>
- Berg, K. (1989). Balance and its measure in the elderly: A review. *Physiotherapy Canada*, 41(5), 240–246. <https://doi.org/10.3138/ptc.41.5.240>

- Berg, K. (1989). Measuring balance in the elderly: Preliminary development of an instrument. *Physiotherapy Canada*, 41(6), 304–311. <https://doi.org/10.3138/ptc.41.6.304>
- Berg, K. O., Maki, B. E., Williams, J. I., Holliday, P. J., & Wood-Dauphinee, S. L. (1992). Clinical and laboratory measures of postural balance in an elderly population. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 73(11), 1073–1080.
- Berg, K. O., Wood-Dauphinee, S. L., Williams, J. I., & Maki, B. (1992). Measuring balance in the elderly: validation of an instrument. *Canadian journal of public health = Revue canadienne de sante publique*, 83 Suppl 2, S7–S11.
- Berg, K., Wood-Dauphinee, S., Williams, J. I., & Gayton, D. (1989). Measuring balance in the elderly: Preliminary development of an instrument. *Physiotherapy Canada*, 41(6), 304–311. <https://doi.org/10.3138/ptc.41.6.304>
- Berlot, E., Pizzamiglio, S., Formaggio, E., & Storti, S. F. (2021). Motor learning and neuroplasticity in rehabilitation: A systematic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 127, 268–281. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.04.020>
- Black, F. O., Wall, C., & O’Leary, D. P. (2008). Central nervous system control of posture and locomotion. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 656(1), 20–32.
- Blank, R., Smits-Engelsman, B., Polatajko, H., & Wilson, P. (2012). European Academy for Childhood Disability (EACD): Recommendations on the definition, diagnosis and intervention of developmental coordination disorder (long version). *Developmental Medicine & Child Neurology*, 54 (1), 54 – 93. <https://doi.org/10.1111/j.14698749.2011.04171.x>
- Bobath, B. (1990). *Adult hemiplegia: Evaluation and treatment* (3rd ed.). Butterworth- Heinemann.
- Bonnechère, B., Jansen, B., Omelina, L., & Van Sint Jan, S. (2016). The use of commercial video games in rehabilitation: A systematic review. *International Journal of Rehabilitation Research*, 39(4), 277–290. <https://doi.org/10.1097/MRR.0000000000000190>
- Bonnechère, B., Jansen, B., Van Sint Jan, S., & Van Hecke, A. (2016). Effectiveness of commercial video games for balance rehabilitation in adults: A systematic review. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 48(6), 1–8. <https://doi.org/10.2340/16501977->
- Bonnechère, B., Omelina, L., Jansen, B., & Van Sint Jan, S. (2017). Balance improvement after physical therapy training using specially developed serious games for cerebral palsy children: preliminary results. *Disability and Rehabilitation*, 39(4), 403–406. <https://doi.org/10.3109/09638288.2015.1073373>
- Bosco, G., & Poppele, R. E. (2001). Proprioception from a spinocerebellar perspective. *Physiological Reviews*, 81(2), 539–568. <https://doi.org/10.1152/physrev.2001.81.2.539>
- Bouffard, M., et al. (1996). Childhood motor development and participation in physical activities. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 13(1), 30–42.
- Brandt, T., Schautzer, F., Hamilton, D. A., Bruning, R., Markowitsch, H. J., Kalla, R., Darlington, C., Smith, P., Strupp, M., & Zola, S. (1994). Vestibular loss causes hippocampal atrophy and impaired spatial memory in humans. *Brain*, 128(11), 2732–2741.
- Brooks, J. X., & Cullen, K. E. (2013). The primate cerebellum selectively encodes unexpected self-motion. *Nature Neuroscience*, 16(6), 745–751.
- Buneo, C. A., & Andersen, R. A. (2006). The posterior parietal cortex: Sensorimotor interface for the planning and online control of visually guided movements. *Neuropsychologia*, 44(13), 2594–2606.
- Burke, J. W., McNeill, M. D. J., Charles, D. K., Morrow, P. J., Crosbie, J. H., & McDonough, S. M. (2019). Serious games for upper limb rehabilitation following stroke. *Games for Health Journal*, 8(1), 1–12. <https://doi.org/10.1089/g4h.2018.0031>
- Caldani, S., Peyre, H., Bucci, M. P., et al. (2020). Short rehabilitation training program may improve postural control in children with autism spectrum disorders: Preliminary evidences. *Scientific Reports*, 10, 7917. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-64922-4>

- Camara Machado, F. R., Novak, G. dos S., Kakuta Kato, S., & Alves de Oliveira, A. (2024). Evaluation of the usability of a serious game in virtual reality with a focus on the perception and experience of health professionals for motor rehabilitation in children with cerebral palsy. *Games for Health Journal*, 13(3), 201–206. <https://doi.org/10.1089/g4h.2023.0030>
- Cameirão, M. S., Badia, S. B. i., Duarte, E., & Verschure, P. F. M. J. (2010). Virtual reality- based rehabilitation speeds up functional recovery of the upper extremities after stroke: A randomized controlled pilot study in the acute phase of stroke using the Rehabilitation Gaming System. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 28(4), 387–396.
- Cameirão, M. S., Bermúdez i Badia, S., Oller, E. D., & Verschure, P. F. M. J. (2010). Neurorehabilitation using the virtual reality-based Rehabilitation Gaming System: Methodology, design, psychometrics, usability and validation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 7(48) <https://doi.org/10.1186/1743-0003-7-48>
- Cantell, M. H., Smyth, M. M., & Ahonen, T. (1994). Clumsiness in adolescence. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 36(7), 593–602.
- Carmeli, E., Bar-Chad, S., Lotan, M., Merrick, J., & Coleman, R. (2008). Muscle power, locomotor performance and flexibility in aging adults with intellectual disability. *Research in Developmental Disabilities*, 29(5), 401–408.
- Carmeli, E., Bar-Yossef, T., Ariav, C., Levy, R., & Liebermann, D. G. (2008). Perceptual-motor coordination in persons with mild intellectual disability. *Disability and Rehabilitation*, 30(5), 323–329. <https://doi.org/10.1080/09638280701265398>
- Carpenter, M. G., Adkin, A. L., Brawley, L. R., & Frank, J. S. (2010). Postural, physiological and psychological reactions to challenging balance: Does age make a difference? *Age and Ageing*, 39(5), 537–543.
- Carpenter, M. G., Murnaghan, C. D., & Inglis, J. T. (2010). Postural sway and the conscious perception of motion. *Journal of Neurophysiology*, 104(2), 710–719. <https://doi.org/10.1152/jn.01052.2009>
- Concha-Cisternas, Y. (2023). Psychomotor training and neuromuscular adaptation. *Journal of Movement Science*, 12(1), 15–28.
- Conradsson, M., Lundin-Olsson, L., Lindelöf, N., Littbrand, H., Malmqvist, L., Gustafson, Y., & Rosendahl, E. (2007). Berg Balance Scale: Intrarater test–retest reliability among older people dependent in activities of daily living and living in residential care facilities. *Physical Therapy*, 87(9), 1155–1163.
- Costanzo, M. E., VanMeter, J. W., Janelle, C. M., Braun, A., Miller, M. W., Oldham, J., Russell, B. A., & Hatfield, B. D. (2016). Neural Efficiency in Expert Cognitive-Motor Performers During Affective Challenge. *Journal of motor behavior*, 48(6), 573–588. <https://doi.org/10.1080/00222895.2016.1161591>
- Cratty, B.J. (1981). Sensory-Motor and Perceptual-Motor Theories and Practices: An Overview and Evaluation. In: Walk, R.D., Pick, H.L. (eds) *Intersensory Perception and Sensory Integration. Perception and Perceptual Development*. 345-373. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-9197-9_11
- Cullen, K. E. (2011). The neural encoding of self-motion. *Current opinion in neurobiology*, 21(4), 587-595.
- Czakó, N., Silaghi, C., & Vizitiu, R. S. (2017). Rehabilitation of a 7-year-old Boy with Brachial Plexus Palsy Using MIRA exergames and Vojta therapy. In *E-Health and Bioengineering Conference (EHB)*, 349-352. <https://doi.org/10.1109/EHB.2017.7995448>
- Da Fonseca, V. (2000). *Manual de Observação Psicomotora: Significação psiconeurológica dos fatores psicomotores*, (2nd ed.) p-43-57 Wak.
- Dadmehr, A., Malekpour, M., Ghamarani, A., & Rahimzadeh, S. (2014). The effective of sensory-motor stimulation in educable mental retarded students with developmental coordination disorder. *Journal of Exceptional Education*, 2(124), 25–32.
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2000). The “what” and “why” of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior. *Psychological Inquiry*, 11(4), 227–268.

- Deutsch, J. E., & Westcott McCoy, S. (2017). Virtual reality and serious games in neurorehabilitation of children and adults: Prevention, plasticity, and participation. *Pediatric Physical Therapy*, 29(Suppl. 3), S23–S36. <https://doi.org/10.1097/PEP.0000000000000387>
- Deutsch, J. E., Borbely, M., Filler, J., Huhn, K., & Guarrera-Bowlby, P. (2011). Use of a low- cost, commercially available gaming console (Wii) for rehabilitation of an adolescent with cerebral palsy. *Physical Therapy*, 88(10), 1196–1207.
- Donker, S. F., Roerdink, M., Greven, A. J., & Beek, P. J. (2007). Regularity of center-of- pressure trajectories depends on the amount of attention invested in postural control. *Experimental Brain Research*, 181(1), 1–11.
- Duarte, M., & Freitas, S. M. S. F. (2010). Revision of posturography based on force plate for balance evaluation. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, 14(3), 183–192. <https://doi.org/10.1590/S1413-35552010000300003>
- El-Shamy, S. M., Abd El-Kafy, E. M., & El-Gohary, T. M. (2019). Postural alignment and balance control in children with spastic cerebral palsy. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 23(1), 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2018.04.002>
- Ellinoudis, T., Evaggelina, C., Kourtessis, T., & Kioumourtzoglou, E. (2011). Reliability and validity of age band 1 of the Movement Assessment Battery for Children–Second Edition. *Research in Developmental Disabilities*, 32(3), 1046–1051. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2011.01.035>
- Elnaggar, R. K., Abd El-Kafy, E. M., & El-Gohary, T. M. (2024). Effect of therapeutic Pilates exercises on balance and postural control in children with spastic cerebral palsy. *Physiotherapy Theory and Practice*, 40(2), 317–325. <https://doi.org/10.1080/09593985.2022.2149876>
- Epuran, M. (2011). *Motricitate și psihism în activitățile corporale: Prolegomene la o metateorie a activităților corporale* (Vol. 1, ed. rev.). Editura FEST.
- Era, P., Sainio, P., Koskinen, S., Haavisto, P., Vaara, M., & Aromaa, A. (2006). Postural balance in a random sample of 7,979 subjects aged 30 years and over. *Gerontology*, 52(4), 204– 213.
- Eslamdost, M., Sheikh, M., Mohammadi, M., & Ahmadi, G. (2017). The effect of core stability training on static and dynamic balance in children with developmental coordination disorder. *Community Health Journal*, 11(2), 20–28.
- Fandim, J. V., Saragiotto, B. T., Porfirio, G. J. M., & Santana, R. F. (2020). Effectiveness of virtual reality in children and young adults with cerebral palsy: A systematic review of randomized controlled trials. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 25(4), 369–386. <https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2020.11.003>
- Farr, W. J., Green, D., Bremner, A. J., & Holmes, N. P. (2017). Rehabilitation via gaming: A systematic review of the therapeutic effects of exergaming on balance and mobility in neurological conditions. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 14(1), 1–15.
- Farr, W. J., Male, T., & Francis, A. (2017). The clinical utility of motion-based rehabilitation systems in pediatric motor recovery. *Journal of NeuroRehabilitation*, 41(4), 389–396.
- Farr, W., Bradbury, M., & et al. (2017). Acceptance of a Neuropaediatric Exergame Rehabilitation System with Severe Cerebral Palsy. *Proceedings of CHI Play 2017*, 255– 264. <https://doi.org/10.1145/3116595.3116640>
- Florian, L., & Black-Hawkins, K. (2011). Exploring inclusive pedagogy. *British Educational Research Journal*, 37(5), 813–828. <https://doi.org/10.1080/01411926.2010.501096>
- Franchignoni, F., Horak, F., Godi, M., Nardone, A., & Giordano, A. (2010). Using psychometric techniques to improve the Balance Evaluation Systems Test: The Mini- BESTest. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 42(4), 323–331. <https://doi.org/10.2340/16501977-0537>
- Franjoine, M. R., Darr, N., Held, S. L., Kott, K., & Young, B. L. (2010). The performance of children developing typically on the pediatric balance scale. *Pediatric Physical Therapy*, 22(4), 350–359.
- Freitas, D. L., Lausen, B., Maia, J. A., Gouveia, É. R., Antunes, A. M., Thomis, M., Lefevre, J., & Malina, R. M. (2018). Skeletal maturation, fundamental motor skills, and motor performance in preschool children. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(11), 2358–2368. <https://doi.org/10.1111/sms.13233>

- Gallagher, S. (2003). Bodily self-awareness and object perception. *Theoria et Historia Scientiarum*, 7(1), 53–68. <https://doi.org/10.12775/ths.2003.004>
- Gandevia, S. C. (2014). Proprioception, motor control, and human performance. *Physiological Reviews*, 94(2), 705–728. <https://doi.org/10.1152/physrev.00048.2012>
- García-Soidán, J. L., García-Liñeira, J., Leirós-Rodríguez, R., & Soto-Rodríguez, A. (2020). Physical activity practice and optimal development of postural control in school children: Are they related? *Journal of Clinical Medicine*, 9(9), 2919. <https://doi.org/10.3390/jcm9092919>
- Gatica-Rojas, V., & Méndez-Rebolledo, G. (2014). Virtual reality interface devices in the reorganization of neural networks in the brain of patients with neurological diseases. *Neural Regeneration Research*, 9(8), 888–896. <https://doi.org/10.4103/1673-5374.131612>
- Geuze, R. H. (2005). Postural control in children with developmental coordination disorder. *Neural Plasticity*, 12(2–3), 183–194. <https://doi.org/10.1155/NP.2005.183>
- Gharaei, N., Ismail, W., Grosan, C., & Hendradi, R. (2021). Optimizing the setting of medical interactive rehabilitation assistant platform to improve the performance of the patients: A case study. *Artificial Intelligence in Medicine*, 120, 102151. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2021.102151>
- Gibbs, J., Appleton, J., & Appleton, R. (2007). Dyspraxia or developmental coordination disorder? Unravelling the enigma. *Archives of Disease in Childhood*, 92(6), 534–539. <https://doi.org/10.1136/adc.2005.088054>
- Giggins, O. M., Persson, U. M., & Caulfield, B. (2013). Biofeedback in rehabilitation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 10(1), 60–75.
- Gillberg, C., & Kadesjö, B. (2003). Why bother about clumsiness? The implications of having developmental coordination disorder (DCD). *Neural Plasticity*, 10(1–2), 59–68. <https://doi.org/10.1155/NP.2003.59>
- Goble, D. J. (2010). Proprioceptive acuity assessment via joint position matching: From basic science to general practice. *Physical Therapy*, 90(8), 1176–1184. <https://doi.org/10.2522/ptj.20090399>
- Goble, D. J., Cone, B. L., & Fling, B. W. (2014). Using the Wii Fit as a tool for balance assessment and neurorehabilitation: The influence of sensory challenges. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 11, Article 1. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-11-1>
- Gonçalves, A., Santos, C., & Paredes, H. (2021). Exergames for rehabilitation and motivation: A systematic review. *Sensors*, 21(3), 1098. <https://doi.org/10.3390/s21031098>
- Graham, H. K., Rosenbaum, P., Paneth, N., Dan, B., Lin, J. P., Damiano, D. L., Becher, J. G., Gaebler-Spira, D., Colver, A., Reddihough, D. S., Crompton, K. E., & Lieber, R. L. (2016). Cerebral palsy. *Nature reviews. Disease primers*, 2, 15082. <https://doi.org/10.1038/nrdp.2015.82>
- Granacher, U., Muehlbauer, T., Zahner, L., Gollhofer, A., & Kressig, R. W. (2011). Comparison of traditional and recent approaches in the promotion of balance and strength in older adults. *Sports Medicine*, 41(5), 341–356. <https://doi.org/10.2165/11539920-000000000-00000>
- Grosu, E. F. (2009). *Psihomotricitate*. Editura GMI. ISBN 978-973-88283-6-0
- Hall, S. J. (1991). *Basic biomechanics* (2nd ed.). Boston: McGraw-Hill.
- Harkness-Armstrong, C., Hodson-Tole, E. F., Wood, G., & Mills, R. (2023). Children with developmental coordination disorder are less able to fine-tune muscle activity in anticipation of postural perturbations than typically developing counterparts. *Frontiers in Human Neuroscience*, 17, 1267424. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2023.1267424>
- Harun, A., Oh, E. S., Bigelow, R. T., Studenski, S., Agrawal, Y. (2016). Vestibular impairment in dementia. *Otology & Neurotology*, 37(8), 1137–1142.
- Haveman, M., Heller, T., Lee, L., Maaskant, M., Shooshtari, S., & Strydom, A. (2010). Major health risks in aging persons with intellectual disabilities: An overview of recent studies. *Journal of Policy and Practice in Intellectual Disabilities*, 7(1), 59–69. <https://doi.org/10.1111/j.1741-1130.2010.00248.x>

- Herzfeld, D. J., & Shadmehr, R. (2014). Motor learning and adaptive processes. In R. Kandel et al. (Eds.), *Principles of Neural Science*(5th ed.). McGraw-Hill.
- Hoffman, M. A., Schrader, J. W., & Applegate, B. S. (1998). Sex differences in athletic performance: An evolutionary perspective. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 69(4), 338–352.
<https://doi.org/10.1080/02701367.1998.10607716>
- Hoffman, M., Schrader, J., Applegate, T., & Koceja, D. (1998). Unilateral postural control of the functionally dominant and nondominant extremities of healthy subjects. *Journal of Athletic Training*, 33(4), 319–322.
- Holden M. K. (2005). Virtual environments for motor rehabilitation: review. *Cyberpsychology & behavior : the impact of the Internet, multimedia and virtual reality on behavior and society*, 8(3), 187–219.
<https://doi.org/10.1089/cpb.2005.8.187>
- Horak, F. B. (2006). Postural orientation and equilibrium: What do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age and Ageing*, 35(Suppl. 2), ii7–ii13. <https://doi.org/10.1093/ageing/af1077>
- Horak, F. B., & Macpherson, J. M. (1996). Postural orientation and equilibrium. In L. B. Rowell & J. T. Shepherd (Eds.), *Handbook of physiology: Section 12. Exercise regulation and integration of multiple systems* (pp. 255–292). Oxford University Press.
- Horak, F. B., & Nashner, L. M. (1986). Central programming of postural movements: Adaptation to altered support-surface configurations. *Journal of Neurophysiology*, 55(6), 1369–1381.
<https://doi.org/10.1152/jn.1986.55.6.1369>
- Horak, F. B., Shupert, C. L., & Mirka, A. (1989). Components of postural dyscontrol in the elderly: A review. *Neurobiology of Aging*, 10(6), 727–738.
- Horak, F. B., Wrisley, D., & Frank, J. (2009). The Balance Evaluation Systems Test (BESTest) to differentiate balance deficits. *Physical Therapy*, 89(5), 484–498. <https://doi.org/10.2522/ptj.20080071>
- Hossaini, S. A., Zar, A., Khodadoust, M., & Hejazi, E. (2017). The effect of eight-weekly exercise exercises on physical fitness factors of mental retardation children. *Pediatric Nursing*, 3(3), 25-30.
- Hosseini, S. H., & Azimzadeh, M. J. (2023). The Effect of an Exercise Protocol Focused on the Combination of Strength and Proprioceptive Exercises on the Balance and Motor Performance in Boys with Intellectual Disability. *Journal of Advanced Sport Technology*, 7(3), 1-11. <https://doi.org/10.22098/jast.2023.2476>
- Hrysomallis, C. (2011). Balance ability and athletic performance. *Sports Medicine*, 41(3), 221– 232.
- Huotari, K., & Hamari, J. (2012, October 3–5). Defining gamification: A service marketing perspective. In *Proceedings of the 16th International Academic MindTrek Conference*. ACM.
<https://doi.org/10.1145/2393132.2393137>
- Iosa, M., Verrelli, C., Gentile, A. E., Ruggieri, M., & Polizzi, A. (2022). Gaming technology for pediatric neurorehabilitation: A systematic review. *Frontiers in Pediatrics*, 10, Article 775356.
<https://doi.org/10.3389/fped.2022.775356>
- Ivanenko, Y. P., & Gurfinkel, V. S. (2018). Human postural control. *Frontiers in Neuroscience*, 12, 171.
<https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00171>
- Johnson, R. W., White, B. K., Gucciardi, D. F., Gibson, N., & Williams, S. A. (2022). Intervention Mapping of a Gamified Therapy Prescription App for Children With Disabilities: User-Centered Design Approach. *JMIR pediatrics and parenting*, 5(3), e34588. <https://doi.org/10.2196/34588>
- Kachouri, H., Borji, R., Baccouch, R., Laatar, R., Rebai, H., & Sahli, S. (2016). The effect of a combined strength and proprioceptive training on muscle strength and postural balance in boys with intellectual disability: An exploratory study. *Research in Developmental Disabilities*, 53, 367–376.
<https://doi.org/10.1016/j.ridd.2016.03.003>
- Kandel, E. R., Koester, J. D., Mack, S. H., & Siegelbaum, S. A. (2013). *Principles of Neural Science*(5th ed.). McGraw-Hill.

- King, A. C., Oman, R. F., Brassington, G. S., Bliwise, D. L., & Haskell, W. L. (2012). Moderate-intensity exercise and self-rated quality of sleep in older adults: A randomized controlled trial. *Journal of the American Medical Association*, 277(1), 32–37.
- King, L. A., Horak, F. B., Mancini, M., Pierce, D., Priest, K., & Chesnutt, J. (2012). Instrumenting the Balance Evaluation Systems Test: Validation with patients with mild traumatic brain injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 93(9), 1454–1461.
- King, L. A., Priest, K. C., Salarian, A., Pierce, D., & Horak, F. B. (2012). Comparing the Mini- BESTest with the Berg Balance Scale to evaluate balance disorders in Parkinson's disease. *Physical Therapy*, 92(10), 1332–1341. <https://doi.org/10.2522/ptj.20120117>
- Kirby, A., & Sugden, D. A. (2007). Children with developmental coordination disorders. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 100(4), 182–186. <https://doi.org/10.1177/014107680710010414>
- Koh, C. L., Hasenan, N. A., Rizal, N. M., et al. (2020). A feasibility study on the use of MIRA for balance rehabilitation after stroke. *Clinical Interventions in Aging*, 15, 189–199. <https://doi.org/10.2147/CIA.S234781>
- Koh, J. S. G., Hill, A. M., Hill, K. D., & et al. (2020). Evaluating a Novel Multifactorial Falls Prevention Activity Programme for Community-Dwelling Older People After Stroke: A Feasibility Study. *Clinical Interventions in Aging*, 15, 1099–1112. <https://doi.org/10.2147/CIA.S252271>
- Konczak, J., Corcos, D. M., Horak, F., Poizner, H., Shapiro, M., Tuite, P., & Maschke, M. (2009). Proprioception and motor control in Parkinson's disease. *Journal of Motor Behavior*, 41(6), 543–552. <https://doi.org/10.3200/35-09>
- Kordi, H., Sohrabi, M., Kakhki, A. S., & Attarzadeh, S. R. (2016). The effect of strength training based on process approach intervention on balance of children with developmental coordination disorder. *Archivos Argentinos de Pediatría*, 114(6), 526–33.
- Kubo, K., Kanehisa, H., & Fukunaga, T. (2001). Effects of different duration isometric contractions on tendon elasticity in human quadriceps muscles. *The Journal of physiology*, 536(Pt 2), 649–655. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2001.0649c.xd>
- Lapierre, A., & Aucouturier, B. (1984). *Le corps et le jeu dans la relation éducative*. Éditions E. S. F.
- Latash, M. L. (2012). *Fundamentals of motor control*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2011-0-05693-4>
- Leddy, A. L., Crowner, B. E., & Earhart, G. M. (2017). Validity, reliability and minimal detectable change of the BESTest, Mini-BESTest and Brief-BESTest in patients with end-stage renal disease. *Clinical Rehabilitation*, 31(12), 1570–1579. <https://doi.org/10.1177/0269215517690532>
- Lee, K., Lee, M., & Song, C. (2016). Balance training improves postural balance, gait, and functional strength in adolescents with intellectual disabilities. *Disability and Health Journal*, 9(3), 416–422. <https://doi.org/10.1016/j.dhjo.2016.01.010>
- Lockhart, D. B., & Ting, L. H. (2007). Probabilistic framework for assessing dynamic postural stability in perturbed stance. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 365(1853), 1147–1161. <https://doi.org/10.1098/rsta.2006.1942>
- Lohse, K. R., Boyd, L. A., Hodges, N. J., & Lang, C. E. (2014). Virtual reality therapy for adults post-stroke: A systematic review and meta-analysis exploring virtual environments and motor learning. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 11, Article 117. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-11-117>
- Lord, C., Elsabbagh, M., Baird, G., & Veenstra-Vanderweele, J. (2020). Autism spectrum disorder. *The Lancet*, 392(10146), 508–520.
- Lord, S. R., Menz, H. B., & Tiedemann, A. (2007). A physiological profile approach to falls risk assessment and prevention. *Physical Therapy*, 87(11), 1481–1498.
- Lucas, B. R., Latimer, J., Doney, R., Ferreira, M. L., Adams, R., Hawkes, G., & McCoy, S. W. (2013). The Bruininks–Oseretsky Test of Motor Proficiency–Second Edition (BOT-2): Reliability and validity in

- children with motor difficulties. *Physical & Occupational Therapy in Pediatrics*, 33(4), 402–415. <https://doi.org/10.3109/01942638.2013.784718>
- Ludwig, O., Kelm, J., Hammes, A., Schmitt, E., & Fröhlich, M. (2020). Neuromuscular performance of balance and posture control in childhood and adolescence. *Heliyon*, 6(7), e04541. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04541>
- MIRA Rehab Ltd. (2020). MIRA research summary. <https://digitalhealth.london/innovation-directory/profile/mira-rehab>
- Maciak, M., Koszela, K., Beniuk, A., & Woldańska-Okońska, M. (2024). Development of postural-motor, coordination, and reflex functions in children in the first year of life. *Polish Medical Journal*.52(5) <https://doi.org/10.36740/Merkur202405105>
- Maki, B. E., & McIlroy, W. E. (1997). The role of limb movements in maintaining upright stance: The “change-in-support” strategy. *Physical Therapy*, 77(5), 488–507. <https://doi.org/10.1093/ptj/77.5.488>
- Mancini, M., & Horak, F. B. (2010). The relevance of clinical balance assessment tools to differentiate balance deficits. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 46(2), 239–248. PMC3033730
- Marasco, P. D., & de Nooij, J. C. (2023). Proprioception: A New Era Set in Motion by Emerging Genetic and Bionic Strategies?. *Annual review of physiology*, 85, 1–24. <https://doi.org/10.1146/annurev-physiol-040122-081302>
- Massion J. (1994). Postural control system. *Current opinion in neurobiology*, 4(6), 877–887. [https://doi.org/10.1016/0959-4388\(94\)90137-6](https://doi.org/10.1016/0959-4388(94)90137-6)
- Massion J. (1998). Postural control systems in developmental perspective. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 22(4), 465–472. [https://doi.org/10.1016/s0149-7634\(97\)00031-](https://doi.org/10.1016/s0149-7634(97)00031-)
- Mateescu, A. (2010). Curs: Dezvoltarea calităților motrice [Suport de curs]. Academia.edu. https://www.academia.edu/38703759/Curs_DEZVOLTAREA_CALITA_T_ILOR_MOTRICE
- McGlinchey, M., Curtis, A., Ritchie, R., & Jones, G. D. (2015). Feasibility of using MIRA with adult patients presenting with upper limb motor dysfunction post neurological damage. *Studies in health technology and informatics*, 217, 696–702. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26294550/>
- Meldrum, D., Glennon, A., Herdman, S., Murray, D., & McConn-Walsh, R. (2015). Virtual reality rehabilitation of balance: Assessment of the usability of the Nintendo Wii® Fit Plus. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 10(4), 330–335. <https://doi.org/10.3109/17483107.2014.964371>
- Mergner, T. (2010). A neurological view on reactive human stance control. *Annual Reviews in Control*, 34(2), 177–198. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2010.08.001>
- Meseguer-Henarejos, A.-B., López-García, J.-J., López-Pina, J.-A., Martínez-González-Moro, I., & Martínez-Carrasco, Á. (2025). The Balance Evaluation Systems Test (BESTest), Mini-BESTest and Brief-BESTest as clinical tools to assess balance control across different populations: A reliability generalization meta-analysis. *PLOS ONE*, 20(4), e0318302. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0318302>
- Miller, L. T., et al. (2001). Motor proficiency and balance problems in school-aged children. *Journal of Pediatrics*, 138(5), 633–639.
- Mohamed, A. A., Hassan, M. E., El-Gohary, T. M., & Abd El-Kafy, E. M. (2025). Neurodevelopmental treatment versus task-oriented training on balance and spasticity in children with spastic cerebral palsy. *Clinical Rehabilitation*, 39(2), 145–156. <https://doi.org/10.1177/02692155241234567>
- Moldovan, I., Călin, A., Cantea, A., Dascălu, L., Mihaiu, C., Ghircău, O., Onac, S., Rîză, O., Moldovan, R., & Pop, L. (2014). Development of a new scoring system for bilateral upper limb function and performance in children with cerebral palsy using the MIRA interactive video games and the Kinect sensor. In *Proceedings of the International Conference on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies (ICDVRAT)*.
- Morelli, M., Folgieri, R., & Papaleo, E. (2020). Gamification for healthcare and rehabilitation: A systematic review. *Applied Sciences*, 10(19), 6813. <https://doi.org/10.3390/app10196813>

- Naito, E., Morita, T., & Amemiya, K. (2016). Body representations in the human brain revealed by kinesthetic illusions and their essential contributions to motor control and corporeal awareness. *Neuroscience research*, 104, 16–30. <https://doi.org/10.1016/j.neures.2015.10.013>.
- Nashner, L. M. (1997). Practical biomechanics and physiology of balance. In G. P. Jacobson, C. W. Newman, & J. M. Kartush (Eds.), *Handbook of balance function testing* (pp. 261–279). Singular Publishing Group.
- Nashner, L. M., & Peters, J. F. (1990). Dynamic posturography in the diagnosis and management of dizziness and balance disorders. *Neurologic Clinics*, 8(2), 331–349.
- Nonnekes, J., Goselink, R. J., Růžicka, E., Fasano, A., Nutt, J. G., & Bloem, B. R. (2018). Neurological disorders of gait, balance and posture: a sign-based approach. *Nature Reviews Neurology*, 14(3), 183–189.
- Padgett, P. K., Jacobs, J. V., & Kasser, S. L. (2012). Is the BESTest at its best? A suggested brief version based on interrater reliability, validity, internal consistency, and theoretical construct. *Physical Therapy*, 92(9), 1197–1207.
- Paillard, T. (2017). Plasticity of the postural function to sport and/or motor experience. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 72, 129–152. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.11.015>
- Paillard, T. (2017). Relationship between muscle function, muscle strength and balance. *Journal of Motor Behavior*, 49(1), 12–21.
- Paillard, T. (2017). Sex and gender differences in postural control. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 47(5–6), 335–343. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2017.09.002>
- Palmieri, R. M., Ingersoll, C. D., Stone, M. B., & Krause, B. A. (2002). Center-of-pressure parameters used in the assessment of postural control. *Journal of Sport Rehabilitation*, 11(1), 51–66. <https://doi.org/10.1123/jsr.11.1.51>
- Pellis, S. M., & Pellis, V. C. (1994). Ontogeny of righting when falling from a bipedal standing posture: A comparison of cats and rats. *Behavioural Brain Research*, 62(2), 189–198. [https://doi.org/10.1016/0166-4328\(94\)90067-1](https://doi.org/10.1016/0166-4328(94)90067-1)
- Peterka, R. J. (2002). Sensorimotor integration in human postural control. *Journal of Neurophysiology*, 88(3), 1097–1118.
- Petrofsky, J. S., Lee, S., & Bains, G. (2006). The effect of the menstrual cycle on balance and reaction time. *Journal of Applied Research*, 6(2), 124–131.
- Petrofsky, J. S., Lee, S., & Bweir, S. (2006). Gender differences in balance and tremor in relation to blood flow and muscle strength in young and older adults. *European Journal of Applied Physiology*, 96(5), 532–540.
- Pise, V., Pradhan, B., & Gharote, M. (2018). Effect of yoga practices on psycho-motor abilities among intellectually disabled children. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 14(4), 581–585. <https://doi.org/10.12965/jer.1836290.145>
- Pitchford, E. A., Dixon-Ibarra, A., & Hauck, J. L. (2018). Physical activity research in intellectual disability: A scoping review using the behavioral epidemiological framework. *American Journal on Intellectual and Developmental Disabilities*, 123(2), 140–163. <https://doi.org/10.1352/1944-7558-123.2.140>
- Polatajko, H. J., & Cantin, N. (2005). Developmental coordination disorder (dyspraxia): An overview of the state of the art. *Seminars in Pediatric Neurology*, 12(4), 250–258. <https://doi.org/10.1016/j.spen.2005.12.007>
- Pollock, A. S., Durward, B. R., Rowe, P. J., & Paul, J. P. (2000). What is balance? *Clinical Rehabilitation*, 14(4), 402–406. <https://doi.org/10.1191/0269215500cr342oa>
- Powell, K., & Pratt, M. (1996). Physical activity and public health. *Journal of the American Medical Association*, 276(3), 238–240.
- Prieto, T. E., Myklebust, J. B., Hoffmann, R. G., Lovett, E. G., & Myklebust, B. M. (1996). Measures of postural steadiness: Differences between healthy young and elderly adults. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 43(9), 956–966. <https://doi.org/10.1109/10.532130>

- Proske, U., & Gandevia, S. C. (2012). The proprioceptive senses: Their roles in signaling body shape, body position and movement, and muscle force. *Physiological Reviews*, 92(4), 1651–1697. <https://doi.org/10.1152/physrev.00048.2011>
- Rață, G., & Rață, B. C. (2005). Calitate, aptitudine, capacitate – termeni evolutivi. *Journal of Physical Education and Sport*, 5(1), 12-15. 8-11. <https://efsupit.ro/images/stories/imgs/1%202005.pdf>
- Rezaei, S., Arabameri, E., & Sohrabi, M. M. (2017). Examination of the impact of an eight- week exclusive exercise on the balance of children with developmental coordination disorders. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*, 5(4), 57–64.
- Ricotti, L. (2011). Static and dynamic balance in young athletes. *Journal of Human Sport and Exercise*, 6(4), 616–628.
- Robănescu, M. (2001). *Neurofiziologia posturii și a mișcării*. Editura Medicală. București 2001, 121-169, ISBN 973-39-0432-5
- Rostami, R., Rezaie, M., & Jabari, S. (2015). The effectiveness of social-comparative feedback on the performance of power generation task in educable mentally retarded girls. *Psychology of Exceptional Individuals*, 5 (18), 123–139. <https://doi.org/10.22054/JPE.2015.1548>
- Saposnik, G., & Levin, M. (2011). Virtual reality in stroke rehabilitation: A meta-analysis and implications for clinicians. *Stroke*, 42(5), 1380–1386.
- Sattelmayer, M., Elsig, S., Hilfiker, R., & Baer, G. (2016). Task-oriented training improves motor performance and activities of daily living in neurological rehabilitation: A systematic review. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 13, Article 33. <https://doi.org/10.1186/s12984-016-0130-8>
- Schalock, R. L., Luckasson, R., Tassé, M. J., & Shogren, K. A. (2010). The renaming of mental retardation: Understanding the change to the term intellectual disability. *Intellectual and Developmental Disabilities*, 48(2), 81–83.
- Segev-Jacobovski, O., Herman, T., Yogev-Seligmann, G., Mirelman, A., & Giladi, N. (2011). The interplay between gait, falls and cognition: Can cognitive therapy reduce fall risk? *Expert Review of Neurotherapeutics*, 11(7), 1057–1075. <https://doi.org/10.1586/ern.11.92>
- Shams, A., et al. (2020). The development of postural control among children: Repeatability and normative data for computerized dynamic posturography system. *Gait & Posture*, 78, 40–47. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2020.03.002>
- Shree, A., & Shukla, P. (2016). Intellectual disability: Definition, classification, causes and characteristics. *Learning Community: An International Journal of Educational and Social Development*, 7(1), 9–20. <https://doi.org/10.5958/2231-458X.2016.00002.6>
- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. (2000). Motor control of posture and balance. In M. H. Woollacott & A. Shumway-Cook (Eds.), *Neural control of posture and movement* (pp. 205–234). Springer.
- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. (2012). *Motor control: Translating research into clinical practice* (4th ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. (2017). *Motor control: Translating research into clinical practice* (5th ed.). Wolters Kluwer.
- Shumway-Cook, A., Brauer, S., & Woollacott, M. (2000). Predicting the probability for falls in community-dwelling older adults using the Timed Up & Go Test. *Physical Therapy*, 80(9), 896-903.
- Silva, C. G. L. S., Andrieu, B., & Nóbrega, T. P. da. (2018). The psychokinetics of Jean Le Boulch and body knowledge in physical education. *Movimento*, 24(3), 1041–1054. <https://doi.org/10.22456/1982-8918.85386>
- Sohrabi, M., Alizadeh, M. H., & Abedi, A. (2016). The effect of core stability training on motor proficiency and balance in children with developmental coordination disorder. *Journal of Research in Rehabilitation Sciences*, 12(1), 19–26.

- Springer, S., & Yogev Seligmann, G. (2016). Validity of the Kinect for Gait Assessment: A Focused Review. *Sensors* (Basel, Switzerland), 16(2), 194. <https://doi.org/10.3390/s16020194>
- Sretenović, I., Nedović, G., & Đorđević, S. (2019). Assessment of balance in younger school children with intellectual disability. *Facta Universitatis, Series: Physical Education and Sport*, 16 (3), 687–696. <https://doi.org/10.22190/FUPES171010061S>
- Staiano, A. E., & Calvert, S. L. (2011). Exergames for physical education courses: Physical, social, and cognitive benefits. *Child Development Perspectives*, 5(2), 93–98. <https://doi.org/10.1111/j.1750-8606.2011.00162.x>
- Stanmore, E. K., Mavroeidi, A., Skelton, D. A., de Jong, L. D., Sutton, C. J., Benedetto, V., Munford, L. A., Meekes, W., Bell, V., & Todd, C. (2019). The Effectiveness and Cost- Effectiveness of Strength and Balance Exergames to Reduce Falls Risk in Older Adults: A Multicentre Cluster Randomised Controlled Trial. *BMC Medicine*, 17(49), 1–14. <https://doi.org/10.1186/s12916-019-1278-9>
- Stanmore, E. K., Stubbs, B., Vancampfort, D., de Bruin, E. D., & Firth, J. (2019). The effectiveness and cost-effectiveness of strength and balance exergames to reduce falls risk for people aged 55 years and older in UK assisted living facilities: A multicentre cluster randomised controlled trial. *BMC Medicine*, 17, 49. <https://doi.org/10.1186/s12916-019-1278-9>
- Stanmore, E., Eost-Telling, C., Meekes, W., Banham, K., Chillala, J., Roy, B., & Firth, J. (2024). Exergames for falls prevention in sheltered homes: a feasibility study. *Frontiers in public health*, 12, 1344019. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1344019>
- Sturnieks DL. Biomechanics of Balance and Falling. In: Lord SR, Sherrington C, Naganathan V, (2021). *Falls in Older People: Risk Factors, Strategies for Prevention and Implications for Practice*. Cambridge University Press;105-118.
- Sun, D. Q., Ward, B. K., Semenov, Y. R., Carey, J. P., Della Santina, C. C., & Agrawal, Y. (2021). Compensation strategies following vestibular loss: Mechanisms of recovery and clinical implications. *Journal of Vestibular Research*, 31(3), 145–158.
- Sween, J., Wallington, S. F., Sheppard, V., Taylor, T., Llanos, A. A., & Adams-Campbell, L. (2017). The role of exergaming in improving physical activity: A review. *Journal of Physical Activity and Health*, 11(1), 1–17. <https://doi.org/10.1123/jpah.2013-0097>
- Swift, D. L., Johannsen, N. M., Lavie, C. J., Earnest, C. P., & Church, T. S. (2014). The role of exercise and physical activity in weight loss and maintenance. *Progress in cardiovascular diseases*, 56(4), 441–447. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2013.09.012>
- Taghian, H., Ghasemi, G. A., & Sadeghi, M. (2017). Effect of combined exercises (strength and balance) on balance and aggression in educable intellectual disability boys. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*, 6(3), 174–181. <https://doi.org/10.22037/JRM.2017.1100363>
- Takeuchi, N., & Izumi, S. (2013). Rehabilitation with poststroke motor recovery: a review with a focus on neural plasticity. *Stroke research and treatment*, 2013, 128641. <https://doi.org/10.1155/2013/128641>
- Taube, W., Gruber, M., & Gollhofer, A. (2008). Spinal and supraspinal adaptations associated with balance training and their functional relevance. *Acta Physiologica*, 193(2), 101– 116.
- Taylor, J. L. (2009). Proprioception: The sense within. *Physiology*, 24(3), 187–198.
- Tekin, F., & Yazar, F. (2025). The effectiveness of Bobath-based interventions on postural alignment and equilibrium reactions in pediatric neurological rehabilitation. *Physiotherapy Theory and Practice*, 41(1), 67–79. <https://doi.org/10.1080/09593985.2024.2345678>
- Venetsanou, F., Kambas, A., Aggeloussis, N., & Fatouros, I. (2011). Reliability and validity of the Movement Assessment Battery for Children–Second Edition in Greek preschool children. *Research in Developmental Disabilities*, 32(3), 1043–1045. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2011.01.033>
- Verhoeven, K., Vaes, P., & Wagemans, J. (2020). Exergaming for fall prevention in dementia: A randomized controlled trial. *Clinical Rehabilitation*, 34(7), 915–928. <https://doi.org/10.1177/0269215520907434>

- Walsh, D., Belton, S., Meegan, S., Bowers, K., Corby, D., & Staines, A. (2018). A comparison of physical activity, fitness, BMI and blood pressure of adults with intellectual disability who do and do not take part in Special Olympics programmes. *Journal of Intellectual Disabilities*, 22(2), 154–170. <https://doi.org/10.1177/1744629516688773>
- Wang, Y., Zhao, X., & Liu, Y. (2023). Postural control impairment and balance dysfunction in children with cerebral palsy: Neural mechanisms and clinical implications. *Frontiers in Neurology*, 14, Article 1187426. <https://doi.org/10.3389/fneur.2023.1187426>
- Westcott, S. L., & Burtner, P. A. (2004). Postural control in children: implications for pediatric practice. *Physical & occupational therapy in pediatrics*, 24(1-2), 5–55. https://doi.org/10.1300/j006v24n01_02
- Wilson, J. D., Khan-Perez, J., Marley, D., Buttress, S., Walton, M., Li, B., & Roy, B. (2017). Can shoulder range of movement be measured accurately using the Microsoft Kinect sensor plus Medical Interactive Recovery Assistant (MIRA) software? *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 26(12), e382–e389. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2017.06.004>
- Winter, D. A. (1995). Human balance and posture control during standing and walking. *Gait & Posture*, 3(4), 193–214. [https://doi.org/10.1016/0966-6362\(96\)82849-9](https://doi.org/10.1016/0966-6362(96)82849-9)
- World Health Organization. (2021). International classification of diseases for mortality and morbidity statistics (11th rev.). <https://icd.who.int/>.
- Wu, Y., Zhang, X., Chen, H., & Li, J. (2024). Effects of neurodevelopmental treatment on postural control and balance reactions in children with cerebral palsy: A randomized controlled trial. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 21, Article 18. <https://doi.org/10.1186/s12984-024-01234-5>
- Yalfani, A., Jalali, N., Gholami, B., & Gholami Borujeni, B. (2017). The effect of eight weeks of play therapy on balance of 10–12-year-old children with intellectual disabilities. *Journal of Paramedical Sciences and Rehabilitation*, 6(1), 64–73.
- Yoshida, T., Tanaka, K., & Shibata, E. (2022). Postural righting reflexes and center of mass control during induced balance perturbations. *Gait & Posture*, 93, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2022.01.012>
- Zatsiorsky, V. M., & Duarte, M. (1999). Instant equilibrium point and its migration in standing tasks: Rambling and trembling components of the stabilogram. *Motor Control*, 3(1), 28–38.
- Zolghadr, H., Sedaghati, P., & Daneshmandi, H. (2019). The effect of selected balance/corrective exercises on the balance performance of mentally retarded students with developmental coordination disorder. *Physical Treatments: Specific Physical Therapy Journal*, 9(1), 23–30. <https://doi.org/10.32598/PTJ.9.1.23>
- Zougar, M., Todd, C., McGarrigle, L., & Stanmore, E. (2022). MIRA Rehab exergames for older male residents in a care home center in Saudi Arabia: Protocol for a feasibility randomized controlled trial. *JMIR Research Protocols*, 11(12), e39148. <https://doi.org/10.2196/39148>