

DEZVOLTAREA UNOR METODE DE EVALUARE A EFICIENȚEI EXERCITIILOR DE KINETOTERAPIE SPECIFICE REABILITĂRII SCOLIOZELOR

Teză de doctorat – Rezumat

pentru obținerea titlului științific de doctor la

Universitatea Politehnică Timișoara

în domeniul de doctorat Inginerie Mecanică

autor **Ana Maria MUNTEANU (căs. VUTAN)**

conducător științific Prof.univ.dr.ing. Erwin-Christian LOVASZ

luna 11 anul 2022

În ultimii ani tot mai multe persoane dau o atenție crescută poziției corpului și se adresează specialiștilor ortopezi sau fizioterapeuți pentru evaluări posturologice elaborate. Postura corpului ne influențează nu doar estetic dar și psihic prin imaginea pe care o prezentăm celor din jur și pe care o observăm la noi înșine. Când vine vorba de copii, tot mai mulți părinți sunt îngrijorați de modul în care cei mici se dezvoltă, mai ales datorită faptului că noile tehnologii îi fac să petreacă tot mai mult timp în fața ecranelor, iar lipsa de mișcare se poate observa cu ușurință prin obezitate și probleme de postură. Studiile realizate în ultimii ani prezintă un procent tot mai mare de copii care dezvoltă deviații ale coloanei vertebrale, în plan sagital (hipercifoze, hiperlordoze), frontal (scolioze) sau ambele. Cu cât aceste probleme sunt depistate într-un stadiu incipient cu atât posibilitatea de corectare este mai mare. Copiii cu probleme de postură sunt examinați de un medic ortoped, dar diagnosticul este confirmat prin realizarea unei radiografii de față și profil a întregii coloane vertebrale ceea ce permite realizarea unor măsurări precum unghi Cobb, grad de maturare osoasă, grad de rotație vertebrală. Din păcate, examinarea radiologică rămâne metoda standard de diagnosticare, dar și de evaluare în timp a evoluției deviațiilor coloanei vertebrale, chiar dacă această investigație presupune expunerea corpului la radiații X care sunt nocive. Prin urmare când discutăm de scolioză, această deviație în plan frontal necesită evaluări repetate iar dezvoltarea unor echipamente, ca metodă neinvazivă care să permită examinări numeroase, este o necesitate. Plecând de la această observație dar și de la lipsa de consens între ortopezi și fizioterapeuți cu privire la eficiența exercițiilor specifice recuperării scoliozei am demarat cercetările doctorale.

Teza de față este structurată pe 7 capitole. Capitolul 1 face o scurtă prezentare a întregii teze. Capitolul 2 conține stadiul actual al cunoștințelor legate de anatomia și biomecanica coloanei vertebrale, diagnosticarea scoliozei și metodele sale de evaluare. În capitolul 3 sunt prezentate metodele de tratament kinetoterapeutic utilizate la ora actuală. Rezultatele cercetărilor teoretice originale se regăsesc în capitolul 4, iar în capitolul 5 este realizată descrierea echipamentelor utilizate în cadrul cercetărilor. Capitolul 6 prezintă pe larg cercetările experimentale realizate cu instrumentele propuse. Concluziile, contribuțiile personale, respectiv direcțiile de cercetare ulterioare sunt exprimate în capitolul 7.

Capitolul 1. Introducere

În această parte este prezentată pe scurt organizarea tezei de doctorat, făcându-se un rezumat pe capitole a întregii teze. Tot aici sunt formulate **obiectivele** principale ale tezei:

- proiectarea și realizarea unui stand experimental, care să permită achiziția de date numerice caracteristice pentru coloana vertebrală, urmată de modelarea formei

acesteia și calculul matematic al unghiurilor Cobb. Metoda de investigare aplicată trebuie să fie non-invazivă, nedureroasă. Echipamentul este de dorit să aibă caracter mobil, astfel încât determinările să poată fi realizate în orice spațiu, fie el în cadrul cabinetului medicului ortoped, fie în cabinetul kinetoterapeutului.

- identificarea algoritmilor de calcul care să permită realizarea unor modele matematice ale coloanei vertebrale în plan frontal și validarea modelelor matematice prin comparare cu valori de referință de pe radiografie.
- evaluarea eficienței programelor de exerciții utilizate în recuperarea scoliozelor, (care aparțin unor metode diferite de tratament) prin utilizarea echipamentului nou propus în cadrul cercetării.
- utilizarea termografiei în studiul eficienței activării musculaturii spatelui în cazul exercițiilor specifice programelor de recuperare a scoliozelor.

Capitolul 2. Stadiul actual privind metodele de investigare a deformațiilor coloanei vertebrale

Coloana vertebrală, reprezintă axul osos median al corpului uman fiind alcătuită din 33-34 de vertebre suprapuse de la nivelul bazinului până la baza craniului. În plan sagital se descriu după Kapandji următoarele curburi: curbura lordotică în zona cervicală și lombară, cu convexitatea orientată anterior, și curbura cifotică în zonele toracală și sacrococigiană cu convexitatea orientată posterior [1]. În plan frontal, coloana prezintă curburi mult mai puțin pronunțate (curbură cu convexitate spre dreapta în zona toracală, în dreptul inimii), astfel că majoritatea autorilor o consideră rectilinie [2].

Abaterile de la poziția fiziologică a coloanei vertebrale determină apariția unor deviații, fie în plan sagital (hipercifoze sau hiperlordoze), fie în plan frontal (scolioze), fie în toate planurile (cifoscoliozele sau scolioze cu rectitudine de profil). Modificările în postura corpului sunt, inițial, funcționale datorită lipsei de control postural, dar adoptarea unor poziții greșite, în mod repetat, pe o perioadă mai lungă de timp, determină modificări structurale, permanente, fără posibilitatea corectării voluntare. Conform SOSORT (Society of Scoliosis Orthopaedic and Rehabilitation Treatment) termenul de „*scolioză*” este utilizat pentru a descrie un grup heterogen de afecțiuni care determină schimbări ale formei și ale poziției coloanei vertebrale, toracelui și trunchiului [3]. Scolioza este o deviație complexă a coloanei vertebrale care apare inițial ca o înclinare în plan frontal a rahisului și care, în urma evoluției progresive, determină modificări atât în plan sagital (exagerarea sau ștergerea curburilor cifotice și lordotice fiziologice) cât și în plan transversal (rotirea corpilor vertebrali), rezultând multiple tulburări morfo-funcționale. În ciuda numeroaselor studii realizate până în momentul de față, cauza care determină apariția și evoluția unei scolioze nu este pe deplin elucidată, există însă o serie de factori intrinseci și extrinseci care au fost incriminați în apariția acestei deviații (determinare genetică, anomalii ale discului vertebral sau corpurilor vertebrale, anomalii ale sistemului endocrin, dezechilibrul musculaturii paravertebrale, modificări ale densității osoase, dereglări ale sistemului nervos, etc) [2, 4]. Diagnosticul scoliozelor este pus de către medicul ortoped pediatru în urma unei evaluări clinice și radiologice. Protocolul de evaluare a scoliozelor specifică realizarea ulterioară de controale clinice și radiologice la fiecare 6 luni până la atingerea vârstei de maturare osoasă [2, 5]. Examenul radiologic este cel care confirmă diagnosticul de scolioză, radiografia aducând informații precise asupra magnitudinii curburii (putându-se măsura unghiul Cobb), gradului de rotație a corpilor vertebrali, vârstei de maturare osoasă, localizării vertebrelor limită superioară și inferioară și a vertebrei vârf. Tratamentul scoliozei a fost standardizat în funcție de magnitudinea curburii măsurată pe radiografia de față [3, 6-8] Astfel:

- pentru valori ale unghiului Cobb cuprinse între 10° și 25° se indică efectuarea de exerciții fizice specifice scoliozelor (kinetoterapie);

- pentru valori ale unghiului Cobb cuprinse între 25° și 50° se indică tratament ortopedic (corset) și exerciții fizice specifice scoliozelor (kinetoterapie);
- pentru valori ale unghiului Cobb peste 50° se indică intervenție chirurgicală prin osteosinteză rahidiană.

Așa cum afirmam și mai sus, protocolul de urmărire a scoliozelor prevede evaluarea periodică, la fiecare 6 luni, a subiecților copii sau adolescenți cu scolioză. Metodele de examinare paraclinică a scoliozelor aparțin imagisticii medicale și constau în preluarea de imagini globale sau secvențiale, plane sau punctate, ale coloanei vertebrale, în plan frontal și/sau sagital [8]. În prezent se utilizează următoarele metode de investigație a scoliozelor:

- ✓ preluarea imaginilor prin radiologie clasică
- ✓ tomografia computerizată
- ✓ imagistica bazată pe rezonanța magnetică nucleară
- ✓ topografia Moiré
- ✓ scanarea optică prin sisteme tip ISIS (Integrated Shape Imaging System)
- ✓ rasterstereografia computerizată
- ✓ maparea ultrasonică digitală
- ✓ maparea tridimensională prin preluare digitală de imagine
- ✓ termografia
- ✓ senzorul Kinect
- ✓ utilizarea senzorilor accelerometrici
- ✓ utilizarea aplicațiilor din smart-phone

Preluarea imaginilor prin radiologie clasică și tomografia computerizată folosesc în examinare radiațiile Röntgen (radiații X). Există studii care evidențiază nocivitatea acțiunii repetate a radiațiilor X asupra corpului uman, în special al copiilor. Riscul de apariție a cancerului este cu 4,3% mai mare la persoanele expuse la radiografii succesive în timpul evaluării scoliozelor [9-11]. În ultimii ani au fost dezvoltate sisteme noi care utilizează doze mici de radiații, micro-doză de raze X.

Imagistica bazată pe rezonanța magnetică nucleară (IRM) este o tehnică a imagisticii care reproduce imagini ale corpului utilizând un câmp magnetic puternic. Coloana vertebrală poate fi investigată foarte bine prin IRM, aducându-se în acest mod informații foarte precise asupra tuturor țesuturilor moi (discuri vertebrale, ligamente, măduva spinării, mușchi) dar și asupra țesutului osos (corpuri vertebrale, coaste). Dar această investigație nu este utilizată pentru măsurarea unghiurilor Cobb.

Topografia Moiré, scanarea optică prin sisteme tip ISIS (Integrated Shape Imaging System), rasterstereografia computerizată, maparea tridimensională prin prelurea digitală de imagine sunt metode optice de evaluare a posturii segmentelor corpului. Ele sunt metode neinvazive și non-contact care realizează o scanare a suprafeței spatelui dar nu permit cuantificarea unghiurilor Cobb cu excepția tehnologiei In Speck. Aceasta are la bază maparea tridimensională prin prelurea digitală de imagine și cu care s-a reușit dezvoltarea unui aparat matematic care să facă posibilă calcularea unghiurilor de înclinare în plan frontal [12].

Maparea ultrasonică digitală este o metodă de analiză tridimensională a coloanei vertebrale cu ajutorul ultrasunetelor. Echipamentul redă imagini schematice în cele trei planuri spațiale și analiza acestora permite identificarea deviațiilor de coloană vertebrală. Cu sistemul Zebris se poate analiza mobilitatea coloanei vertebrale și există studii care prezintă modalități de calcul matematic al unghiurilor Cobb în cazul scoliozelor [13].

În ultimii ani în analiza posturii s-au utilizat camere termografice, senzori accelerometrici sau senzorul Kinect pentru depistarea deviațiilor. De asemenea s-au dezvoltat numeroase aplicații pentru telefoanele smart care ajută evaluatorii să detecteze pozițiile asimetrice ale diferitelor segmentele corporale. Avantajele acestor metode constau în faptul că sunt neinvazive pentru corpul persoanelor investigate.

Fiecare metodă, cu avantajele și dezavantajele sale, este prezentată pe larg în teză.

Capitolul 3. Studiu actual privind metodele de kinetoterapie utilizate în reabilitarea scoliozei

Tratamentul prin kinetoterapie are drept scop

- încetinirea ritmului de evoluție a scoliozei sau dacă este posibil oprirea din evoluție a scoliozei sau chiar micșorarea unghiului Cobb;
- ștergerea reflexelor greșite de postură și formarea unor noi engrame asupra poziției corecte a corpului în spațiu, atât în statică cât și în dinamică;
- creșterea capacității respiratorii [3].

De-a lungul timpului s-au dezvoltat numeroase metode de tratament care au la bază exerciții statice sau dinamice, exerciții cu obiecte ajutătoare sau chiar aparate întregi care să acționeze pe cele 3 planuri în care apar modificările specifice scoliozelor.

Kinetoterapia clasică utilizează exerciții fizice care provin din gimnastica de bază. Exercițiile sunt analitice, efectuate simplu, cu sau fără obiecte, punând accent pe respirație și acordând o importanță deosebită musculaturii spatelui în întregime și musculaturii abdominale. Exercițiile se realizează din toate pozițiile de gimnastică: stând, așezat, culcat, pe genunchi sau atârnat.

Terapia Schroth este prima terapie care a abordat scolioza tridimensională. Katharina Schroth, fondatoarea metodei a introdus în recuperarea scoliozei principiul respirației angulare precum și cel de schimbare a percepției posturii. În această terapie sunt utilizate diferite poziții în care sunt realizate corecțiile bazinului și centurii scapulare și din care pacientul efectuează: autoelongație, deflexie, derotare și stabilizare (contractie izometrică). Toate corecțiile se realizează simultan, în timpul unei respirații angulare dirijate spre concavități în inspirul profund și spre convexități pe expirul forțat [14].

Conceptul SEAS (Scientific Exercises Approach to Scoliosis) are la bază principii cognitive-comportamentale și nu exerciții tipizate ca în alte metode. Astfel, subiecții cu scolioză învață să realizeze o autocorecție și apoi se introduc diferite exerciții, realizate simetric dar în care este păstrată conștient corecția [3, 7]. Scopul final este stabilizarea coloanei vertebrale în poziție corectă.

Side shift exercise and hitch exercise (exerciții de translație și ridicare) au fost introduse prima dată de Mehta în 1985. În funcție de localizarea scoliozei se pot executa mișcări de translație (pentru zona toracală) sau de ridicare (pentru zona lombară și pelvis)[8, 15].

DoboMed este o metodă ce se adresează în principal scoliozelor idiopatice ușoare, progresive. Exercițiile sunt realizate în lanț cinematic închis, din poziții simetrice dar autocorecțiile urmăresc rectilizarea în plan frontal și derotarea în plan transversal ghidată de respirații[3, 15].

Metoda Mézières urmărește echilibrarea tonusului în cadrul catenelor musculare ale corpului deoarece consideră că deviațiile de postură apar în contextul scurtării musculaturii posterioare a corpului. Constă în menținerea unor posturi specifice, în care catenele musculare sunt întinse și în cadrul acestor poziții se execută respirații corecte, diafragmatice.

Capitolul 4. Coloana vertebrală și deformațiile posturale în plan frontal- modelare matematică.

Modelarea matematică a coloanei vertebrale este posibilă prin prelevarea coordonatelor unor puncte de la nivelul rahisului. Un echipament alcătuit din senzori accelerometrici poate transmite coordonatele necesare. Forma „C” sau „S” poate fi redată cu ajutorul unui polinom de grad înalt. Pentru alegerea polinomului de lucru s-a urmărit forma reprezentării grafice funcție de gradul polinomului. Pentru a calcula însă analitic unghiul/unghiurile Cobb, sunt necesare coordonatele a două sau trei puncte de inflexiune, ceea ce necesită utilizarea unor

polinoame de interpolare cel puțin de gradul patru sau cinci.

Pentru modelarea formei coloanei vertebrale s-au luat în studiu două tipuri de scolioză : o scolioză cu o curbură și o scolioză cu două curburi. S-a acceptat inițial aproximarea prin polinom de gradul 8, datorită utilizării a opt puncte de precizie, determinate experimental (cu ajutorul echipamentului proiectat, alcătuit din 8 senzori accelerometrici) și a unui punct de referință impus, situat pe coloana vertebrală, considerat originea sistemului. Pentru determinarea coeficienților polinomului și prelucrarea ulterioară a datelor s-a creat o aplicație soft dedicată, scrisă în MATHCAD14. Astfel s-au obținut coordonatele punctelor de inflexiune I_1, I_2, I_3 și I_4 și unghiuri Cobb între aceste puncte. Datorită faptului că operarea cu o funcție de aproximare de gradul 8 este dificilă, s-au verificat rezultatele utilizând funcții de aproximare de gradul 4, caz în care rezultă 2 puncte de inflexiune reale pentru cazul scoliozei simple cu o curbură și de gradul 5, caz în care rezultă 3 puncte de inflexiune reale pentru cazul scoliozei complexe cu două curburi .

Pentru cazurile luate spre analiză valorile determinate prin cele două funcții matematice sunt foarte apropiate de valoarea calculată pe radiografie. Graficele obținute prin calcul matematic sunt prezentate mai jos (Figura 1 și Figura 2) în comparație cu forma coloanei vertebrale pe radiografie.

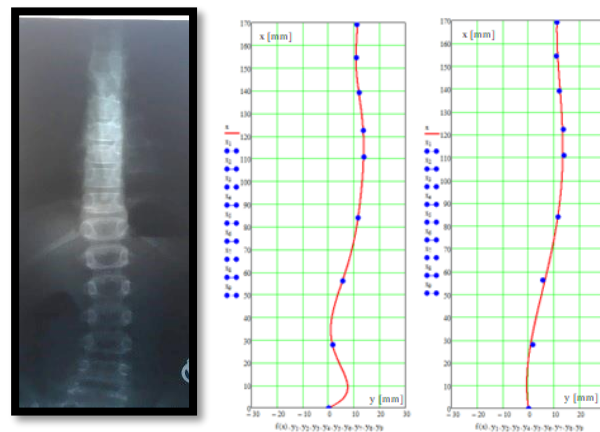


Figura 1. a) Comparație între forma coloanei pe RX, b) Model matematic al coloanei calculat cu polinom de aproximare de gradul 8, c) Model matematic al coloanei calculat cu polinom de aproximare de gradul 4

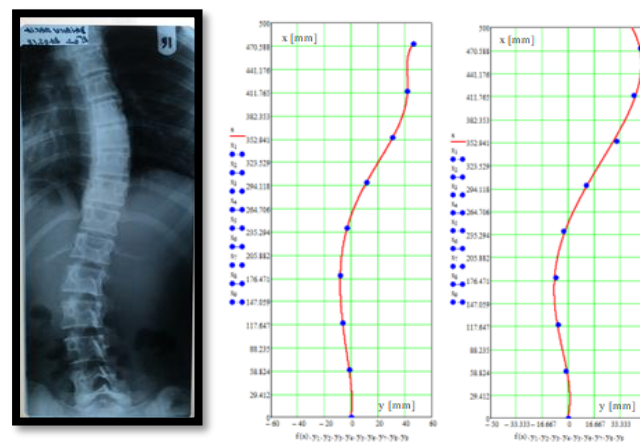


Figura 2. a) Radiografia coloanei examinate RX; b) Model matematic al coloanei calculat cu polinom de aproximare de gradul 8, c) Model matematic al coloanei calculat cu polinom de aproximare de gradul 5

Încercările realizate au evidențiat posibilitatea utilizării polinoamelor de aproximare de grad mare în vederea obținerii formei matematice a coloanei vertebrale și calcularea unghiului/unghiurilor Cobb. Pentru calculul unghiurilor Cobb este necesar să se utilizeze cel puțin gradul 4 al polinomului pentru scoliozele cu o curbură, iar gradul 5 al polinomului poate fi utilizat în modelarea formei unei scolioze cu mai mult de o curbură. Această modalitate de modelare a coloanei vertebrale poate fi extrem de utilă în urmărirea evoluției unei scolioze de către medicul ortoped care trebuie să observe evoluția în timp a deviației coloanei vertebrale, dar și de către fizioterapeut care trebuie să realizeze programe de recuperare eficiente.

Întrucât literatura nu pune la dispoziție elemente teoretice sau practice referitoare la un astfel de demers matematic, conținutul acestui capitol este în mare măsură, original.

Capitolul 5. Echipamente utilizate în cadrul cercetării experimentale

În cadrul cercetărilor doctorale s-a urmărit realizarea unui dispozitiv care să permită calcularea unghiului de înclinație fără prejudicii asupra corpului investigat.

S-a proiectat și s-a realizat un echipament alcătuit din senzori accelerometrici deoarece aceștia au o serie de avantaje:

- fac posibile măsurări indiferent de vârsta pacientului diagnosticat cu scolioză și indiferent de gen;
- timpul de preluare a datelor este relativ scurt;
- reprezintă o metodă neinvazivă și nedureroasă;
- furnizează date numerice, ușor de stocat și necesare pentru generarea unui model matematic al coloanei.

Numărul punctelor de prelevare a datelor a fost stabilit la 8, suficient pentru a fi utilizat în modelarea prin polinomiale de aproximare de grad superior și rațional din punct de vedere practic, având în vedere dimensiunile fizice ale componentelor.

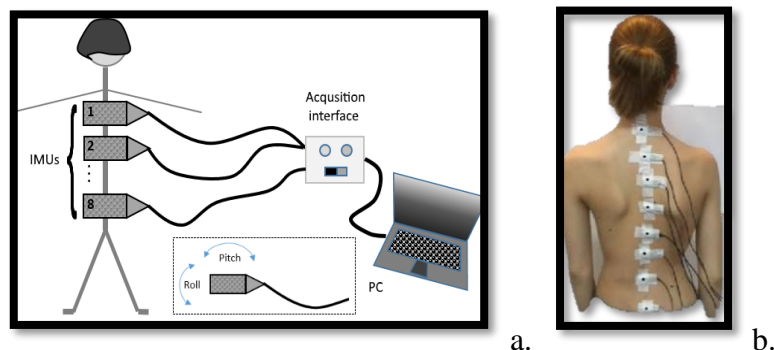


Figura 3. a) Schema echipamentului a datelor de la accelerometre. b) Poziționarea senzorilor pe apofizele spinose

A fost proiectat și realizat un sistem de achiziție alcătuit dintr-un ansamblu de 8 IMU-uri MEMS [16] (unități inerțiale de măsurare) conectate prin magistrala lor I2C la un multiplexor I2C [17] și la o placă de microcontroler [18] (Figura 3.a). Având în vedere că plăcile IMU sunt suporturi de PCB, acestea au fost protejate împotriva pătrunderii materialelor străine (adeziv, picături de lichid, atingere cu degetul) prin încapsularea lor în tuburi termocontractabile. Încapsularea permite de asemenea și aplicarea senzorului pe tegumentul pacientului prin utilizarea unui adeziv medical.

Fiecare sensor trebuie lipit pe tegument, deasupra apofizelor spinose vertebrale (cum se poate observa în Figura 3.b). Senzorii accelerometrici generează date constând din cele trei unghiuri (φ_x , φ_y , φ_z) în jurul axelor unui sistem de referință. Având în vedere modelul matematic acceptat ca o curbă plană în planul frontal, s-a utilizat numai unghiul Pitch furnizat de senzori.

Proiecția punctelor de măsurare pe plan frontal este constituită din nouă puncte, pentru care unghiurile φ_{xi} ($i = 1...8$) sunt cunoscute de la senzori, iar distanțele dintre punctele $l_{i, i+1}$ ($i = 1...8$) au fost măsurate direct în timpul investigației. În Figura 4. sunt reprezentate punctele M1 ... M9, într-un sistem de referință ortogonal. Celor 8 puncte de măsurare li s-a alăturat un punct care coincide cu originea sistemului de referință [19].

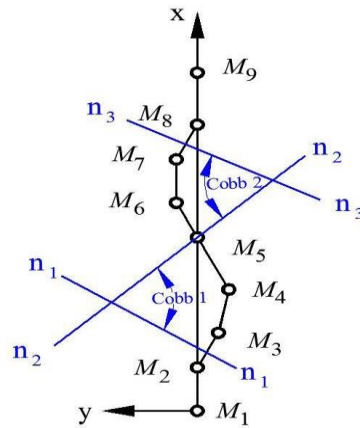


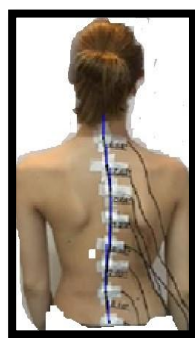
Figura 4. Cele 9 puncte de achiziție și unghiurile Cobb

Microcontrolerul citește toate cele 8 valori ale accelerometrului într-o buclă continuă, calculează unghiurile și transmite valorile la PC-ul conectat, cu frecvența de 5 Hz. Această modalitate de achiziție poate fi utilizată atât pentru a evalua poziția coloanei vertebrale în ortostatism dar și în timpul exercițiilor statice întâlnite în cadrul metodelor de recuperare specifice scoliozelor și în care poziția coloanei este păstrată aceeași timp de câteva secunde.

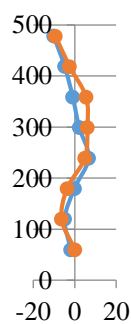
Pentru validarea datelor obținute experimental s-a procedat ulterior la o încercare dedicată, în care s-au comparat coordonatele unor puncte notate pe coloană și forma matematică obținută, cu date care au rezultat din achiziția unei imagini martor, considerată de referință. Rezultatele procedurii de mai sus sunt ilustrate în Figura 5, pentru poziția ortostatică. Pentru această poziție sunt plasate una lângă alta imaginea de referință (Figura 5. a), imaginea de referință prelucrată (Figura 5. b), reprezentarea grafică a coloanei obținută cu senzorii accelerometrici (albastru) și de pe imagine (roșu) (Figura 5.c) și unghiurile Pitch rezultate din cele două abordări (Figura 5. d).



a)



b)



c)

φ [deg]	
Senzori	Imagine
-2.77	-6.1
4.46	2.52
6.54	8.19
-4.32	1.23
-3.00	-0.64
-3.70	-7.61
-5.11	-6.54

d)

Figura 5. a) Imagine de referință, b) Imagine de referință prelucrată, c) Forma coloanei obținută prin prelucrare de imagine, respectiv achiziție de date, d) Unghiurile Pitch rezultate prin prelucrare de imagine, respectiv achiziție de date

Cel de-al doilea sistem utilizat în cadrul cercetărilor experimentale a fost camera de termoviziune FLIR B200. Studiile din literatura de specialitate au demonstrat că copiii cu scolioză prezintă zone de asimetrie termică la nivelul spatelui și această observație a fost semnificativ corelată cu unghiul de rotație a trunchiului [20]. Autorii au concluzionat că termografia poate fi utilizată ca instrument complementar în screening-ul copiilor cu scolioză [21].

Preluarea de imagini termice prezintă avantaje substanțiale față de metodele tradiționale de investigare a coloanei vertebrale:

- este neinvazivă și nedureroasă pentru pacient;
- imaginile pot fi făcute în orice spațiu de lucru, deoarece aparatul este mic, mobil și ușor;
- camera termică este ușor de manevrat de către terapeut și oferă rezultate instantanee;
- imaginea termică este unică prin caracterul ei intuitiv. Nicio altă procedură imagistică nu oferă un rezultat atât de ușor de citit;
- terapeutul poate prelua imagini la începutul ședinței, dar și în timpul programului de exerciții, astfel obținând informații prețioase cu privire la eficiența exercițiului propus.

În cadrul experimentelor realizate, imaginile au fost preluate de către fizioterapeut în cabinetul de lucru cu pacienții. Ca procedură, s-a stabilit utilă preluarea mai multor secvențe de imagine, pentru a se putea face comparații.

Capitolul 6. Cercetări experimentale

Determinări experimentale cu echipamentul bazat pe senzori accelerometrici

Pentru validarea echipamentului conceput și a metodelor de calcul, s-au realizat măsurări experimentale pe un lot de 9 subiecți diagnosticați cu scolioză (cu o curbură și cu două curburi). Valorile unghiurilor Cobb obținute în urma aplicării algoritmilor matematici au avut o corelație bună cu valorile calculate de medicul radiolog pe RX. Diferența între valorile calculate matematic și valorile calculate de medicii radiologi nu au depășit 2-3°. Rezultatele experimentale obținute au confirmat ipoteza utilizării polinoamelor de aproximare de gradul 4 pentru scoliozele cu o singură curbură și a celor de gradul 5 pentru scoliozele cu două curburi în detrimentul polinoamelor de grade mai mari.

Având validat protocolul de lucru s-a realizat în continuare analiza exercițiilor utilizate în cadrul programelor de kinetoterapie.

S-a luat inițial spre analiză mișcarea de înclinare laterală care este utilizată în programele de gimnastică clasică. Participantul la studiu a realizat înclinări atât de partea dreaptă cât și de partea stângă pe o scală progresivă din 10° în 10°. Mișcarea subiectului a fost ghidată pe o scală gradată aflată în fața lui. Pentru fiecare poziție de înclinare laterală a fost realizată atât o achiziție de date de la senzorii accelerometrici cât și o achiziție fotografică [22]. Analiza rezultatelor a confirmat faptul că mișcarea care determină alinierea corpilor vertebrali este cea de înclinare de pe partea convexității. Prin urmare, în cazul scoliozelor cu o singură curbură mișcarea de înclinare laterală, în care se deschide concavitatea este o mișcare sigură care poate fi utilizată atât în timpul exercițiilor de kinetoterapie cât și în viața de zi cu zi. În cazul scoliozelor cu dublă curbură înclinările laterale accentuează una din curburi, astfel că aceste mișcări trebuie evitate atât în cazul exercițiilor din programele de kinetoterapie cât și în activitățile pe care le desfășoară subiecții cu scolioză zilnic.

În următorul experiment s-au analizat trei tipuri de exerciții care aparțin unor metode diferite de tratament a scoliozei: Schroth, Mézières, kinetoterapia clasică. S-au calculat unghiurile Cobb în poziție ortostatică (așa cum se realizează RX) dar și în timpul exercițiilor. Valorile unghiurilor Cobb calculate în diferite secvențe ale exercițiilor au fost comparate cu valoarea unghiului Cobb obținut pe RX. Tabelul 1 prezintă valorile înregistrate în primul caz luat spre analiză.

Tabelul 1. Valorile unghiurilor Cobb în timpul exercițiilor luate în studiu, pentru cele 2 curburi

Valorile unghiurilor Cobb	RX	Poziția de ortostatism	Exercițiu Schroth (cilindrul muscular)	Exercițiu din metoda Mézières	Exercițiu din atârnat la scara fixă
Cobb 1	22°	21.84°	14.79°	11.44°	22.25°
Cobb 2	28°	28.37°	21.39°	23.24°	24.21°

Reprezentarea grafică a valorilor obținute în urma calculului matematic este prezentată în Figura 6.

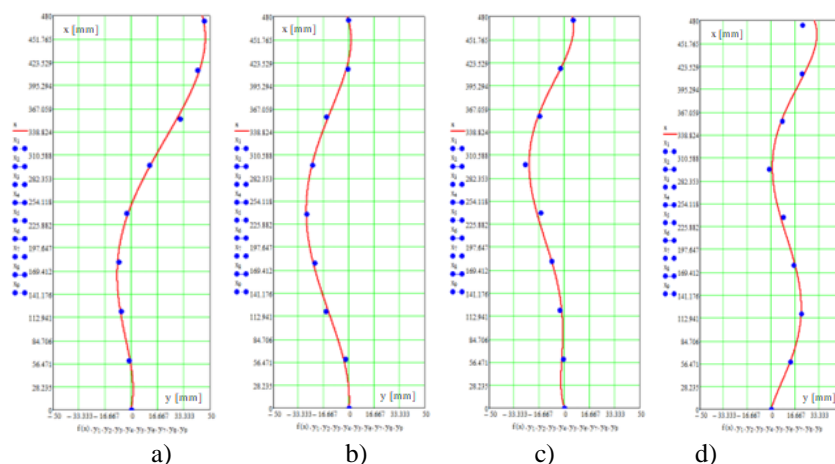


Figura 6. Modelul coloanei vertebrale calculat cu ajutorul polinomului de aproximare de gradul 5 în cadrul diferitelor exerciții a) Ortostatism, b) Schroth, c) Mézières, d) Atârnat

Tabelul și graficele de mai sus pun în evidență o scădere a unghiurilor Cobb în cazul pozițiilor adoptate în timpul celor 3 exerciții specifice metodelor diferite de tratament. Poziția în care ambele unghiuri Cobb scad cel mai mult face parte din metoda Schroth. De asemenea, o scădere semnificativă a valorilor unghiulare poate fi observată în poziția Mézières, dar după curba descrisă prin modelare, se poate observa o creștere a curbelor compensatorii. În poziția de suspendare s-a evidențiat doar o îmbunătățire a valorii unghiului Cobb în zona dorsală.

Experimentul s-a repetat pe întregul lot luat în studiu (9 subiecți) și rezultatele au evidențiat eficiența superioară a exercițiului din metoda Schroth deoarece se realizează cea mai mare scădere a unghiurilor Cobb în timpul execuției acestui tip de exercițiu.

Determinări experimentale utilizând camera de termoviziune

Plecând de la observațiile din literatura de specialitate am utilizat camera de termoviziune FLIR B200 în cadrul experimentelor de cercetare pentru a analiza eficiența exercițiilor de kineroterapie specifice diferitelor metode de tratament. S-a utilizat camera termografică pentru a înregistra temperatura de la suprafața corpului înainte de începerea exercițiilor (pentru a se cunoaște starea inițială a subiecților) și la finalul exercițiului (pentru a observa efectul final). Toate experimentele au ținut cont de cerințele Asociației Europene de Termografie: temperatura din camera $23\pm 1^{\circ}\text{C}$, achiziția de imagine s-a realizat de la 1,5m distanță față de subiect, perpendicular pe zona evaluată.

S-au realizat 3 experimente diferite. Primul experiment a vizat evaluarea celor trei exerciții care au fost urmărite și cu echipamentul cu accelerometre, un al doilea studiu a evaluat exerciții realizate din poziții de decubit (ventral și lateral) specifice tehnicii Schroth și kinetoterapiei clasice iar ultimul experiment a urmărit evaluarea unor exerciții de tonifiere musculară care se efectuează simetric.

Inițial testarea s-a realizat în paralel cu echipamentul alcătuit din senzori accelerometrici și camera de termoviziune. S-a constatat că repetarea mișcărilor în care contracția musculaturii determină o re poziționare a corpurilor vertebrale și implicit o scădere a unghiului Cobb, determină o creștere a temperaturii în zonă vizată. Exercițiile care au scăzut cel mai mult unghiul Cobb în plan frontal au fost cele la care s-a înregistrat și o creștere evidentă a temperaturii față de temperatura inițială. Rezultatele obținute în urma acestui experiment au confirmat ipoteza de la care am plecat la început: cu cât musculatura se activează mai eficient, apare o creștere a temperaturii la suprafața tegumentului, iar la nivelul coloanei vertebrale se realizează o re poziționare a corpurilor vertebrale, prin scăderea unghiului Cobb.

În continuare experimentul cu camera de termoviziune a vizat un lot de 30 de subiecți. În cazul tuturor subiecților s-au înregistrat creșteri ale temperaturii tegumentului de la nivelul spatelui după fiecare tip de exercițiu, dar comparațiile dintre (ΔT) diferențele de creștere observate după fiecare tip de exercițiu a evidențiat faptul că exercițiul specific terapiei Schroth este cel care determină cea mai mare creștere de temperatură la nivelul spatelui. De asemenea, dintre celelalte două exerciții, cel ce aparține metodei Mézières a înregistrat o creștere mai mare a temperaturii la nivelul spatelui decât cel din atârnat.

Cel de-al doilea studiu a urmărit evaluarea unor exerciții specifice terapiei Schroth și kinetoterapiei clasice din poziții de decubit ventral și lateral. Acest experiment s-a realizat pe un lot de 14 subiecți. Am analizat separat modificările ce apar pe zonele toracale și lombare. În urma efectuării acestui experiment s-au făcut următoarele observații:

- ✓ utilizarea camerei de termoviziune face posibilă analiza diferențiată a eficienței metodelor de recuperare specifice scoliozelor;
- ✓ imaginile captate cu camera termografică au evidențiat că exercițiile din metoda Schroth (care utilizează contracțiile izometrice) cresc temperatura la nivelul spatelui mai mult decât exercițiile clasice (care utilizează contracții concentrice și excentrice);
- ✓ s-a observat că în timpul exercițiilor din metoda Schroth musculatura se activează mai țintit pe zona convexității, la nivelul vertebrei vârf a curbării, ceea ce presupune și o eficiență mai mare a acestora în corectarea înclinării laterale;
- ✓ exercițiile evaluate din decubit lateral din ambele metode de tratament s-au dovedit a fi cele care corectează cel mai bine deviația în plan frontal;
- ✓ exercițiile Schroth din decubit ventral sunt mai puțin eficiente pentru corecția deviației în plan frontal;
- ✓ exercițiile din decubit ventral ce aparțin metodei Cotrel sunt eficiente mai ales în cazul scoliozelor lungi toracale;
- ✓ în cazul scoliozelor lombare utilizarea exercițiilor din metoda Cotrel a evidențiat inițial creșterea temperaturii locale în zona concavă ceea ce presupune că este nevoie de un număr mai mare de repetări pentru a observa activitate crescută și pe zona musculaturii convexității.

Ultimul experiment realizat în cadrul cercetării doctorale a urmărit analiza activării mușchilor spatelui în timpul mișcărilor efectuate simetric de subiecți cu scolioză și, de asemenea, de subiecți fără abateri posturale, pentru a observa dacă există diferențe în activarea mușchilor spatelui între cele două categorii de subiecți. Treizeci de subiecți au fost împărțiți

în 2 grupuri: un grup de control și un grup de studiu, fiecare grup fiind format din 15 participanți. În lotul de control au fost incluși subiecți sănătoși, fără deviații de postură. În lotul de studiu au intrat subiecți diagnosticați cu scolioză ușoară fără indicație de corset și fără alte boli asociate. S-a realizat o primă achiziție după ajustarea corpului la temperatura ambiantă din camera în care a avut loc experimentul și o alta după fiecare exercițiu efectuat. Au fost alese pentru evaluare 3 exerciții care sunt recomandate în general de instructori sau terapeuți pentru a tonifia musculatura spatelui. Aceste exerciții sunt prezentate în Figura 7.



Figura 7. Exercițiile alese spre analiză în cadrul experimentului.

În cadrul experimentului s-a observat la subiecții din lotul de control o activare simetrică a mușchilor în cadrul celor 3 exerciții analizate. Mușchii spatelui din partea dreapta și din partea stângă au lucrat echilibrat, activându-se simetric în timpul mișcărilor așa cum se poate observa în Figura 8.

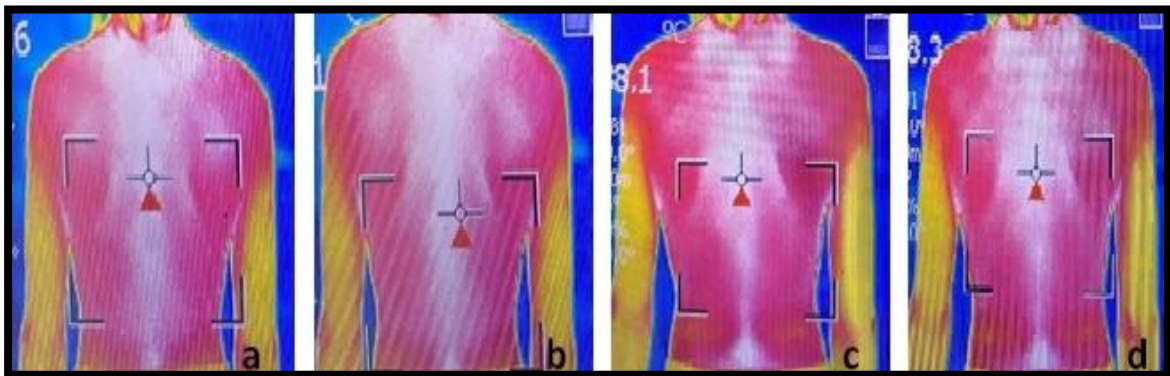


Figura 8. Subiect fără scolioză a) imagine achiziționată inițial, b) imagine achiziționată la sfârșitul exercițiului 1, c) imagine achiziționată la sfârșitul exercițiului 2, d) imagine achiziționată la sfârșitul exercițiului 3

În cazul subiecților din lotul de studiu, prima imagine preluată a evidențiat o asimetrie cromatică între partea dreaptă și partea stângă a spatelui datorită temperaturilor diferite de la nivelul musculaturii [23]. Ulterior, pe parcursul execuției exercițiilor chiar dacă acestea s-au desfășurat simetric, s-a constatat o activare asimetrică a mușchilor spatelui, așa cum se poate observa în exemplul din Figura 9.

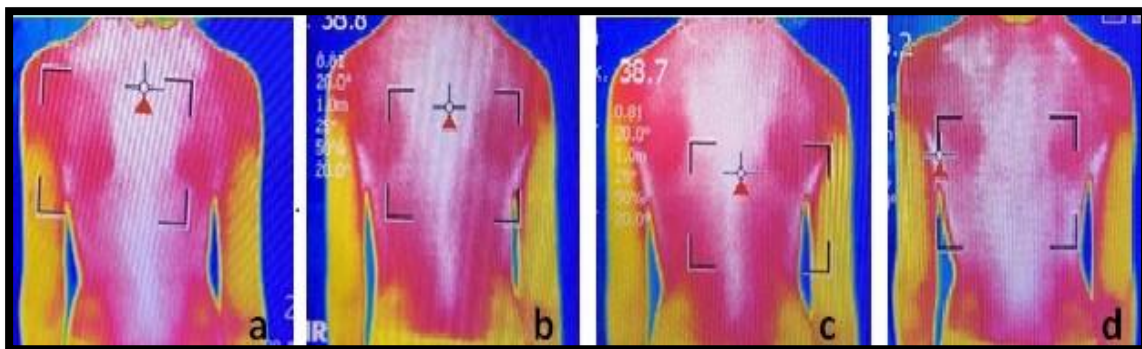


Figura 9. Subiect cu scolioză a) imagine achiziționată inițial, b) imagine achiziționată la sfârșitul exercițiului 1, c) imagine achiziționată la sfârșitul exercițiului 2, d) imagine achiziționată la sfârșitul exercițiului 3

Deoarece imaginile achiziționate în cazul subiecților cu scolioză au evidențiat o activare musculară asimetrică, aceștia au fost rugați să participe și la o nouă evaluare în care exercițiile au fost corectate în timp real de către kinetoterapeut, prin indicații verbale asupra zonelor de interes sau a poziției spatelui, membrilor superioare și inferioare. În Figura 10 se poate observa modul în care corecțiile făcute de kinetoterapeut influențează activitatea musculară în timpul execuției exercițiilor: imagine inițială, imaginea finală după primul experiment și imaginea finală după cel de-al doilea experiment.

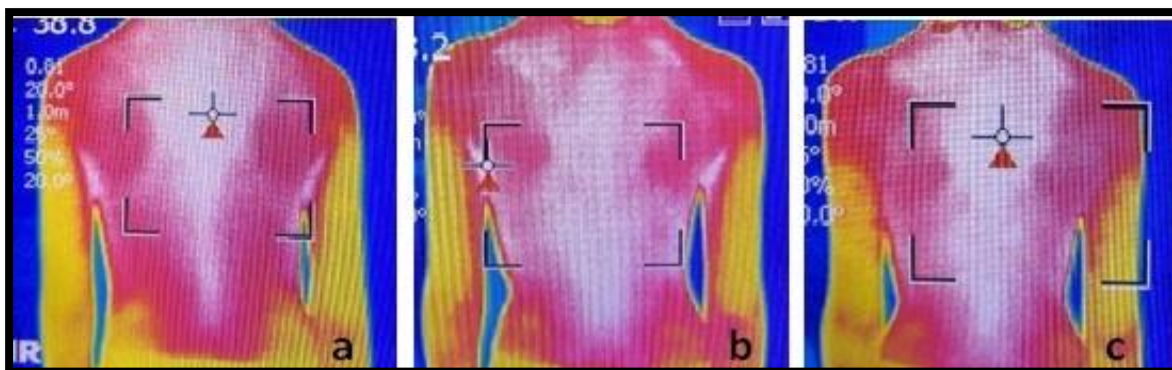


Figura 11. Subiect cu scolioză: a) imagine preluată la începutul experimentului 1
b) imagine preluată la sfârșitul experimentului 1
c) imagine preluată la sfârșitul experimentului 2

Al doilea experiment realizat cu subiecții lotului de studiu a evidențiat faptul că în cazul subiecților cu scolioză ușoară se poate obține o activare echilibrată a mușchilor spatelui, dacă aceștia sunt supravegheați și corecțai de un terapeut. Dezechilibrul minim observat la evaluarea inițială se menține în timpul executării exercițiilor simetrice dacă nu se intervine din exterior pentru a îi conștientiza asupra pozițiilor utilizate sau a mișcărilor asimetrice executate.

Capitolul 7. Concluzii și contribuții personale

Lucrarea de față „Dezvoltarea unor metode de evaluare a eficienței exercițiilor de kinetoterapie specifice reabilitării scoliozelor” are la bază cunoștințe teoretice și practice ale autoarei acumulate într-o experiență de peste 20 de ani în domeniul recuperării medicale. Teza de cercetare fost realizată cu scopul de a demonstra efectul benefic pe care exercițiul fizic îl are asupra îmbunătățirii posturii în cazul scoliozelor, prin modificările

unghiurilor Cobb în timpul tratamentului, dar și al activării musculaturii spatelui în timpul efectuării exercițiilor fizice specifice.

Analiza rezultatelor obținute în urma cercetarilor teoretice și experimentele a condus la următoarele concluzii:

- Modelarea matematică a formei coloanei vertebrale este posibilă prin utilizarea funcțiilor de aproximare polinomiale de grad 4, 5 și 8 utilizând aplicații soft dedicate (generate în MATHCAD14);
- Curbele de aproximare obținute sunt apropiate ca formă cu cele ale coloanei prezente pe RX și valoarea numerică a unghiurilor Cobb calculate cu ajutorul normalelor în punctele de inflexiune ale curbelor polinomiale sunt foarte apropiate de valorile calculate de medicii radiologi pe RX în cazul întregului lot luat în studiu;
- Polinomul de aproximare de gradul 4 poate fi utilizat în cazul scoliozelor cu o singură curbura deoarece conduce la aflarea a 2 puncte de inflexiune între care se poate calcula unghiul Cobb căutat;
- Polinomul de aproximare de gradul 5 conduce la obținerea a trei puncte de inflexiune care sunt necesare pentru calcularea a 2 unghiuri Cobb prezente în cazul scoliozelor cu 2 curburi;
- Această modalitate de modelare a coloanei vertebrale poate fi extrem de utilă în urmărirea evoluției unei scolioze și, prin urmare, echipamentul cu accelerometre dezvoltat, ușurează și eficientizează observarea în timp a scoliozei atât de către medic cât și de către fizioterapeut;
- Echipamentul alcătuit din senzori accelerometrici poate fi utilizat pentru analiza modificărilor unghiurilor Cobb în timpul ședințelor de exerciții în care se dorește aprecierea eficienței acestora;
- Urmărind modul de evoluție a unghiurilor Cobb în anumite secvențe ale exercițiilor, terapeutul poate corecta și eficientiza programul de exerciții;
- Echipamentul conceput permite terapeutului să aleagă cele mai eficiente exerciții pentru fiecare pacient în parte;
- Camera de termoviziune poate fi un instrument foarte util în sălile de kinetoterapie, în timpul realizării programelor de reechilibrare posturală.
- Utilizarea camerei de termoviziune ușurează munca terapeutului deoarece acesta poate observa mai bine musculatura implicată în efectuarea exercițiilor ceea ce face posibilă o corecție eficientă.
- Exercițiile care aparțin metodei Schroth aduc cele mai mari modificări ale unghiurilor Cobb față de valorile de referință iar analiza cu termograful a pus în evidență o creștere mai mare a temperaturii pe zona de convexitate în cazul execuției lor;
- Exercițiul specific metodei Mézières modifică în cele mai multe cazuri unghiul Cobb din curbura principală, dar superior și inferior acesteia pot să apară elemente de compensare;
- Analizând mișcările de înclinare laterală indicate în cazul programelor clasice de recuperare, s-a constatat o aliniere a corpilor vertebrali în zona de convexitate dar zonele de compensare superioare și inferioare pot înregistra o agravare prin creșterea curburilor;
- Poziția din care se desfășoară exercițiul este importantă deoarece acesta poate ajuta la eficientizarea mișcării. Exercițiile din decubit lateral activează mai eficient musculatura spatelui decât exercițiile din decubit ventral;
- Exercițiile din decubit ventral specifice metodei Cotrel sunt eficiente, mai ales, în cazul scoliozelor lungi toracale, deoarece activarea musculaturii se realizează pe zona toracală de mijloc și lombară;

- Utilizarea camerei termografice ca metodă de investigare a relevat faptul că exercițiile simetrice efectuate de copiii cu scolioză ușoară pot activa asimetric mușchii spatelui dacă nu sunt corecți de un terapeut;
- Exercițiile simetrice ar putea fi recomandate în programele efectuate la domiciliu, numai după ce subiecții știu să le execute corect și doar sub supravegherea adulților care au fost pregătiți în prealabil.

Contribuții personale

- Sinteza materialului bibliografic interdisciplinar, care include informații din anatomie, biomecanică, matematică, informatică, medicină de investigație și kinezoterapie;
- Modelarea matematică a formei coloanei vertebrale prin determinarea funcțiilor de aproximare polinomiale de grad 4, 5 și 8, utilizând aplicații soft dedicate (generate în MATHCAD14);
- Propunerea de utilizare a polinoamelor de gradul 4 în cazul scoliozelor cu o curbură și a polinoamelor de gradul 5 în cazul scoliozelor duble, pentru calculele necesare modelării matematice a coloanei scolioze;
- Conceperea unui echipament format din senzori accelerometrici care poate fi atașat de tegumentul subiectului investigat pentru a depista deviația în plan frontal;
- Validarea valorilor rezultate prin calcul matematic cu valorile măsurate pe RX în cazul unui lot de subiecți diagnosticați cu scolioză;
- Utilizarea echipamentului alcătuit din senzori accelerometrici, pentru a studia modificarea unghiurilor Cobb, în diferite secvențe ale exercițiilor de reabilitare;
- Realizarea unei comparații între exerciții care aparțin unor metode diferite de tratament, luând în discuție modificările unghiurilor Cobb în diferite secvențe ale execuției mișcărilor;
- Interpretarea rezultatelor obținute în urma experimentelor, prin realizarea de grafice și tabele relevante pentru studiul realizat;
- Propunerea de utilizare a camerei termografice pentru analiza modului de activare a musculaturii spatelui în timpul exercițiilor specifice scoliozei;
- Analiza variațiilor temperaturii la nivelul spatelui în funcție de exercițiul efectuat de subiectul cu scolioză;
- Investigații termografice comparative între exerciții care aparțin diferitelor metode de tratament specific scoliozelor (metoda Schroth, metoda Mézières, kinezoterapia clasică);
- Testarea unui lot de 30 de subiecți și analiza ulterioară a imaginilor achiziționate, în vederea aprecierii eficienței exercițiilor executate pentru corectarea scoliozei;
- Investigarea unor exerciții executate simetric (des utilizate în sălile de kinezoterapie dar și indicate în filmele de pe internet) de subiecți cu scolioză ușoară, dar și de subiecți fără deviații în plan frontal, pentru a urmări modul de acțiune a musculaturii spatelui;
- Demonstrarea necesității efectuării tratamentelor de reabilitare sub supravegherea terapeuților, chiar și în cazurile de scolioză ușoară, datorită faptului că musculatura subiecților cu deviații posturale acționează diferit față de persoanele fără probleme de postură;
- Rezultatele obținute au dovedit importanța evaluării exercițiilor fizice individual, pentru fiecare caz în parte, în scopul de a crește eficiența exercițiilor utilizate.

Privind în ansamblu toate rezultatele obținute în cadrul cercetării doctorale se poate afirma că efectuarea de exerciții fizice poate acționa în scopul reducerii curburilor scolioze. Mișcările

corective determină atât o re poziționare a corpurilor vertebrale prin micșorarea unghiurilor Cobb cât și o activare selectivă a musculaturii pe zonele de înclinare majoră. Este însă important ca exercițiile să fie adaptate tipului de scolioză și capacităților subiectului de execuție corectă a exercițiilor la indicațiile date de terapeut. Utilizarea unor echipamente care să ofere în timp real informații asupra poziției coloanei sau gradului de implicare musculară pot fi esențiale în eficientizarea programelor de kinetoterapie.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. Kapandji, A.I., *The Physiology of the Joints*. 6th edition ed. Vol. 3. 2008: CHURCHILL LIVINGSTONE Elsevier. 345.
2. Jianu, M., *Scolioza pediatrică*. 2010, București: Pro Editură și Tipografie. 135.
3. Negrini, S., Donzelli, S., Aulisa, A.G., Czaprowski, D., Schreiber, S., de Mauroy, J.C., Diers, H., Grivas, T.B., Knott, P., Kotwicki, T., Lebel, A., Marti, C., Maruyama, T., O'Brien, J., Price, N., Parent, E., Rigo, M., Romano, M., Stikeleather, L., Wynne, J. and Zaina, F. *2016 SOSORT guidelines: orthopaedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth*. *Scoliosis and Spinal Disorders*, 2018. **13**(1): p. 3.
4. Millner, P.A. and Dickson, R.A. *Idiopathic scoliosis: biomechanics and biology*. *European Spine Journal*, 1996. **5**(6): p. 362-373.
5. Janicki, J.A. & Alman, B. *Scoliosis: Review of diagnosis and treatment*. *Paediatrics & Child Health*, 2007. **12**(9): p. 771-776.
6. Weiss, H.R., Negrini, S., Rigo, M., Kotwicki, T., Hawes, M.C., Grivas, T.B., Maruyama, T. and Landauer, F. *Indications for conservative management of scoliosis (SOSORT guidelines)*. *Studies in health technology and informatics*, 2008. **135**: p. 164-170.
7. Negrini, S., Aulisa, A.G., Aulisa, L., Circo, A.B., De Mauroy, J.C., Durmala, J., Grivas, T.B., Knott, P., Kotwicki, T. and Maruyama, T. *2011 SOSORT guidelines: orthopaedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth*. *Scoliosis*, 2012. **7**(1): p. 1-35.
8. **Vutan, A.M.**, Lovasz, E.C., Amarandei, M. and Ciupe, V. *The methods used for the diagnosis and evaluation of scoliosis*. *Timișoara Physical Education and Rehabilitation Journal*, 2016. **9**(17): p. 45.
9. Simony, A., Carreon, L.Y. and Andersen, M.O. *Reliability and validity testing of a Danish translated version of the Scoliosis Research Society Instrument–22 Revised (SRS-22R)*. *Spine deformity*, 2016. **4**(1): p. 16-21.
10. Ronckers, C.M., Land, C.E., Miller, J.S., Stovall, M., Lonstein, J.E. and Doody, M.M. *Cancer mortality among women frequently exposed to radiographic examinations for spinal disorders*. *Radiation research*, 2010. **174**(1): p. 83-90.
11. Pace, N., Ricci, L. and Negrini, S. *A comparison approach to explain risks related to X-ray imaging for scoliosis, 2012 SOSORT award winner*. *Scoliosis*, 2013. **8**(1): p. 11.
12. Gugoasă Garaiman, A., *Contribuții privind implementarea unor tehnici noninvazive avansate de investigație a deformațiilor de coloană vertebrală*, in *Inginerie Mecanică*. 2010, Universitatea Politehnică Timișoara: Timișoara.
13. Gruescu, C.M., Garaiman, A. and Lovasz, E.C. *Modeling of human spinal column and simulation of spinal deformities*. *MECHANIKA*, 2015(3): p. 214-219.
14. Lehnert-Schroth, C., *Three-dimensional treatment for scoliosis: a physiotherapeutic method for deformities of the spine*. 2007: Martindale Press.
15. Fusco, C., Zaina, F., Atanasio, S., Romano, M., Negrini, A. and Negrini, S. *Physical exercises in the treatment of adolescent idiopathic scoliosis: an updated systematic review*. *Physiotherapy theory and practice*, 2011. **27**(1): p. 80-114.
16. ***. *IMU*. Available from: MinIMU-9 v5 Gyro, Accelerometer, and Compass (LSM6DS33 and LIS3MDL Carrier) – Product information and resources webpage; <https://www.pololu.com/product/2738>.
17. ***. *Multiplexor*. 03.03.2017]; Available from: TCA9548A 1-to-8 I2C Multiplexer Breakout – Product information and resources webpage; <https://learn.adafruit.com/adafruit-tca9548a-1->

- [to-8-i2c-multiplexer-breakout?view=all](#).
***. *Microcontroler*. 3.03.2017]; Available from: A-Star 32U4 Micro – Product information and resources webpage; <https://www.pololu.com/product/3101>.
19. **Vutan, A.M.**, Ciupe, V., Gruescu, C.M. and Lovasz, E.C. *Experimental Method for Dynamic Evaluation of Spinal Column Deformation Exercises*. in *New Advances in Mechanism and Machine Science*. 2018. Cham: Springer International Publishing.
20. Lubkowska, A. & Gajewska, E. *Temperature distribution of selected body surfaces in scoliosis based on static infrared thermography*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020. **17**(23): p. 891321. Chudecka, M., Lubkowska, A., Leźnicka, K. and Krupecki, K. *The use of thermal imaging in the evaluation of the symmetry of muscle activity in various types of exercises (symmetrical and asymmetrical)*. *Journal of human kinetics*, 2015. **49**: p. 141.
22. **Vutan, A.M.**, Gruescu, C.M., Lovasz, E.C. and Ciupe, V. *Discussion on Cobb Angle variation during progressive lateral flexion of the trunk*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018. **444**: p. 052020..
23. **Vutan, A.M.**, Lovasz, E.C., Gruescu, C.M., Sticlaru, C., Sîrbu, E., Jurjiu, N.A., Borozan, I.S. and Vutan, C. *Evaluation of Symmetrical Exercises in Scoliosis by Using Thermal Scanning*. *Applied Sciences*, 2022. **12**(2).

