

# **DEZVOLTAREA UNOR METODE DE EVALUARE A EFICIENȚEI EXERCIȚIILOR DE KINETOTERAPIE SPECIFICE REABILITĂRII SCOLIOZELOR**

Teză destinată obținerii titlului științific de doctor  
la  
Universitatea Politehnica Timișoara  
în domeniul INGINERIE MECANICĂ  
de către

**KT. Ana-Maria Munteanu (Vutan)**

Conducător științific:  
Referenți științifici:

Prof.univ.dr.ing. Erwin-Christian Lovasz  
Prof.univ.dr.ing. Silviu Dan Mândru  
Prof.univ.dr.ing. Daniela Tarniță  
Prof.univ.dr. Mihaela Oravițan  
Prof.univ.dr.ing. Inocențiu Maniu  
Prof.univ.dr.ing. Dorin Lelea

Ziua susținerii tezei: 9 decembrie 2022

~

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- |   |   |
|---|---|
| 1. Automatică                               | 11. Știința și Ingineria Materialelor                                   |
| 2. Chimie                                   | 12. Ingineria Sistemelor  |
| 3. Energetică                               | 13. Inginerie Energetică  |
| 4. Inginerie Chimică                        | 14. Calculatoare și Tehnologia Informației                              |
| 5. Inginerie Civilă                         | 15. Ingineria Materialelor  |
| 6. Inginerie Electrică                      | 16. Inginerie și Management   |
| 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații | 17. Arhitectură   |
| 8. Inginerie Industrială                    | 18. Inginerie Civilă și Instalații                                      |
| 9. Inginerie mecanică                       | 19. Inginerie Electronică, Telecomunicații și Tehnologii Informaționale |
| 10. Știința Calculatoarelor                 |   |

Universitatea Politehnica Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul Școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2022

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității Politehnica Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii nr. 9  
e-mail : editura@upt.ro

## Cuvânt înainte

Cercetările desfășurate în cadrul studiilor doctorale au pornit de la observația că, în prezent, eficiența kinetoterapiei în recuperarea scoliozei idiopatice este încă pusă sub semnul întrebării. În ultimii ani s-au realizat studii care să demonstreze potențialul corector al unor metode des utilizate în reabilitarea deficiențelor de coloană în plan frontal dar nu s-a ajuns la un consens între terapeuți și medicii ortopezi.

În ultima vreme există un interes permanent din partea specialiștilor, de perfecționare a sistemelor de investigare medicală și de asemenea, publicul larg acordă o atenție sporită posturii corpului. Prin urmare, motivația de a utiliza echipamente noi, noninvazive și rapide pentru evaluarea poziției corpului este de mare interes, atât pentru specialiștii din domeniu medical cât și pentru inginerii care concep astfel de dispozitive, iar colaborarea transdisciplinară este extrem de importantă.

Teza de doctorat a fost elaborată pe parcursul activității desfășurate în cadrul Școlii doctorale a Universității Politehnica Timișoara, domeniul Inginerie Mecanică, sub coordonarea domnului prof.dr.ing.habil Erwin-Christian Lovasz.

Sunt profund recunoscătoare și adresez mulțumiri deosebite domnului prof.dr.ing.habil Erwin-Christian LOVASZ, pentru susținerea, încurajarea și îndrumarea acordată pe tot parcursul cercetărilor doctorale.

Deosebite mulțumiri adresez și doamnei prof.dr.ing.habil Corina Mihaela GRUESCU pentru implicarea și îndrumarea constantă în scrierea articolelor publicate, dar și pentru încurajarea permanentă, ajutându-mă la finalizarea acestei teze.

Doresc să aduc mulțumiri doamnei prof.dr.ing. Arjana Davidescu pentru tot sprijinul acordat în timpul studiilor doctorale.

Cercetările nu ar fi putut fi realizate fără sprijinul acordat de domnul conf.dr.ing.Valentin CIUPE, care m-a ajutat la realizarea echipamentului utilizat experimental în cadrul cercetărilor și căruia îi aduc mulțumiri deosebite.

De asemenea doresc să mulțumesc doamnei prof.dr.ing.habil Veronica ARGESANU și domnului șef de lucrări dr.ing. Ionuț BOROZAN care cu amabilitate au pus la dispoziție camera FLIR B200, utilizată în cadrul studiilor realizate.

Mulțumesc, de asemenea, familiei pentru răbdarea acordată și tuturor subiecților care au fost de acord să participe necondiționat la realizarea studiilor efectuate!

Timișoara, decembrie 2022

Ana-Maria VUTAN

Vutan, Ana - Maria

**Dezvoltarea unor metode de evaluare a eficienței exercițiilor de kinetoterapie specifice reabilitării scoliozelor**

Teze de doctorat ale UPT, Seria X, Nr. YY, Editura Politehnica, 2022, 140 pagini, 103 figuri, 17 tabele.

Cuvinte cheie: echipamente de investigare scolioză, evaluare exerciții de kinetoterapie, senzori accelerometrici, termografie.

Rezumat:

Teza de doctorat propune un sistem nou de investigare a deviațiilor coloanei vertebrale.

Scoliozele sunt deviații în plan frontal care preocupă atât domeniul medical cât și cel ingineresc, prin necesitatea dezvoltării unor dispozitive care pot detecta precoce și în mod neinvaziv deviația dar și mai departe, în evaluarea eficienței tipului de tratament prescris. Deoarece în literatura de specialitate nu s-a ajuns la un consens în ceea ce privește eficiența exercițiilor kinetoterapeutice propuse în cazul scoliozelor, obiectivele acestei teze au fost de a proiecta și realiza un stand experimental, care să permită achiziția de date numerice caracteristice pentru coloana vertebrală, modelarea formei acesteia, calculul matematic al unghiurilor Cobb și evaluarea eficienței programelor de exerciții de reabilitare a scoliozelor, care aparțin unor metode diferite de tratament.

De asemenea în cadrul tezei s-a propus termografia ca metodă de investigare a eficienței activării musculaturii spatelui în cazul exercițiilor specifice programelor de recuperare a scoliozelor și analiza comparativă a exercițiilor ce aparțin metodelor luate în studiu.

Rezultatele obținute în urma experimentelor realizate confirmă eficiența exercițiilor specifice scoliozelor în reabilitare prin micșorarea unghiurilor Cobb în timpul execuției mișcărilor sau pozițiilor propuse sau prin creșteri ale temperaturii la nivelul spatelui, acolo unde se dorește să se acționeze prin execuțiile realizate.

## CUPRINS

LISTA FIGURILOR.....	8
LISTA TABELELOR .....	12
1. INTRODUCERE .....	13
2. STADIUL ACTUAL PRIVIND METODELE DE INVESTIGARE A DEFORMAȚIILOR COLOANEI VERTEBRALE.....	16
2.1. Elemente de bază ale anatomiei și biomecanicii coloanei vertebrale	16
2.1.1. Noțiuni introductive asupra coloanei vertebrale .....	16
2.1.2. Elemente de anatomie vertebrală .....	17
2.1.3. Noțiuni de biomecanică vertebrală .....	18
2.2. Deviațiile coloanei vertebrale în plan frontal – Scolioza.....	20
2.2.1. Definiția scoliozei.....	20
2.2.2. Etiopatogenia scoliozei .....	21
2.2.3. Clasificarea scoliozelor.....	22
2.2.4. Diagnosticarea scoliozelor.....	25
Examenul clinic.....	25
2.2.5. Tratamentul scoliozei .....	29
Considerații generale .....	29
2.3. Metode de investigare a deviațiilor de coloană vertebrală .....	32
2.3.1. Preluarea imaginilor prin radiologie clasică.....	33
2.3.2. Tomografia computerizată (TC) .....	34
2.3.3. Imagistica bazată pe rezonanța magnetică nucleară (IRM).....	36
2.3.4. Topografia Moiré.....	38
2.3.5. Scanarea optică prin sisteme tip ISIS .....	39
2.3.6. Rasterstereografia computerizată .....	40
2.3.7. Maparea ultrasonică digitală.....	41
2.3.8. Maparea tridimensională prin preluare digitală de imagine .....	46
2.3.9. Termografia .....	50
2.3.10. Senzorul Kinect .....	52
2.3.11. Senzorii accelerometrici.....	52
2.3.12. Utilizarea aplicațiilor din smartphone.....	53
2.4. Concluzii .....	54

## 6 Cuprins

---

3. STUDIU ACTUAL PRIVIND METODELE DE KINETOTERAPIE UTILIZATE ÎN REABILITAREA SCOLIOZEI .....	56
3.1. Metode de kinetoterapie utilizate pentru recuperarea deviațiilor de coloană vertebrală.....	56
3.1.1. Kinetoterapia clasică .....	56
3.1.2. Terapia Schroth.....	57
3.1.3. Conceptul SEAS (Scientific Exercises Approach to Scoliosis).....	58
3.1.4. Side shift exercise and hitch exercise (exerciții de translație și ridicare).....	59
3.1.5. DoboMed .....	60
3.1.6. Conceptul ISR (Integrated Scoliosis Rehabilitation) .....	60
3.1.7. Metoda Mézières.....	61
3.2. Concluzii .....	62
4.COLOANA VERTEBRALĂ ȘI DEFORMAȚIILE POSTURALE ÎN PLAN FRONTAL – MODELARE MATEMATICĂ .....	64
4.1. Observații preliminare.....	64
4.2. Modele matematice ale coloanei vertebrale.....	65
4.2.1. Funcții de interpolare utile în modelarea coloanei vertebrale....	65
4.2.2. Modelarea coloanei vertebrale cu funcții polinomiale de grad superior.....	68
4.3. Concluzii .....	73
5.ECHIPAMENTE UTILIZATE ÎN CADRUL CERCETĂRII EXPERIMENTALE .....	74
5.1. Sistem de achiziție a coordonatelor unor puncte de pe coloana vertebrală utilizând senzori accelerometrici.....	74
5.2. Sistem de investigare a deviațiilor de coloană vertebrală cu cameră termografică.....	77
5.3. Concluzii .....	79
6. CERCETĂRI EXPERIMENTALE.....	80
6.1. Determinări experimentale cu echipamentul bazat pe senzori accelerometrici .....	80
6.1.1. Validarea datelor experimentale prin comparare cu valori determinate pe radiografie – lot de subiecți .....	80
6.1.2. Dezvoltarea unui program de citire rapidă a datelor .....	81
6.1.3. Analiza modificării unghiurilor Cobb în timpul diferitelor mișcări realizate de subiecți diagnosticați cu scolioză .....	82
6.1.3.1. Analiza mișcărilor de înclinare laterală.....	82
6.1.3.2. Analiza exercițiilor fizice din metode diferite de tratament...	86
6.2. Determinări experimentale utilizând camera de termoviziune.....	96

---

6.2.1. Experiment 1 .....	96
6.2.2. Experiment 2 .....	103
6.2.3. Experiment 3 .....	105
6.2.4. Experiment 4 .....	115
6.3. Concluzii .....	121
7.CONCLUZII GENERALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE.....	125
BIBLIOGRAFIE .....	130
LISTA PUBLICAȚIILOR REZULTATE ÎN CADRUL PROGRAMULUI DE CERCETARE DOCTORALĂ SUB AFILIERE UPT .....	138

## LISTA FIGURILOR

Figura 2.1 Aspectul coloanei vertebrale privită din lateral, anterior și posterior [3]	16
Figura 2.2. Coloana vertebrală vedere din posterior – stânga poziția normală a coloanei; dreapta o coloană afectată de scolioză [15]	21
Figura 2.3. În stânga, coloana vertebrală afectată de scolioză. În dreapta, coloana vertebrală normală [16]	21
Figura 2.4. În stânga, scolioza neechilibrată. În dreapta, scolioza echilibrată [22]	25
Figura 2.5. Măsurarea rotației vertebrale cu scoliometrul Bunnel [27]	26
Figura 2.6. Modul de calcul al unghiului Cobb [30]	27
Figura 2.7. Tehnica de evaluare a rotației vertebrale Nash și Moe	27
Figura 2.8. Testul Risser de evaluare a maturității osoase [33, 34]	28
Figura 2.9. Exemplu de intervenție chirurgicală în cazul unei scolioze mari	32
Figura 2.10. Aparat de radiologie [68]	33
Figura 2.11. Aparat de tomografie computerizată [78]	35
Figura 2.12. Imaginea unei coloane vertebrale reconstruită 3D	35
Figura 2.13. Componenta unui scanner RMN [82]	37
Figura 2.14. Imaginea coloanei vertebrale preluată cu ajutorul scannerului IRM	37
Figura 2.15. Imagine preluată prin topografia Moiré [84]	38
Figura 2.16. Imagine cu spatele unui subiect pe care sunt proiectate franje luminoase [86]	39
Figura 2.17. Imagini preluate și prelucrate cu sistemul ISIS2 [87]	40
Figura 2.18. Imagini achiziționate de dispozitivul Formetric [88]	41
Figura 2.19. Punctarea apofizelor spinoase cu pointer-ul ultrasonic [89]	41
Figura 2.20. Componentele echipamentului Zebris [90]	42
Figura 2.21. Prezentarea schematică a principiului de măsurare cu pointerul ultrasonic	43
Figura 2.22. Raport de evaluare generat de echipamentul Zebris	43
Figura 2.23. Unghiurile măsurate în plan sagital la nivelul curburilor toracale și lombare	44
Figura 2.24. Unghiurile depistate în plan frontal	44
Figura 2.25. Unghiurilor măsurate în plan transversal prin rotația centurilor pelvine	44
Figura 2.26. Date prelucrate pentru a reda mobilitatea pacientului	45
Figura 2.27. Schema optica de formare a imaginii [92]	46
Figura 2.28. Corelarea coordonatelor imagine cu cele ale obiectului [92]	47
Figura 2.29. Schema bloc a transformării de coordonate	48
Figura 2.30. Poziționarea camerelor și a persoanei investigate	48
Figura 2.31. Model de camera digitală 3D Mega Capturor DF	48
Figura 2.32. a) Imaginile preluate de cele 3 camere,	48
Figura 2.33. Interfața grafică a programului INBIRE [91]	49
Figura 2.34. Model de coloană afectată de scolioză [91]	50
Figura 2.35. Imagine dată de termograf [95]	51
Figura 2.36. Imagine realizată cu camera Fliir A40M la o pacientă de 16 ani	51
Figura 2.37. Poziționarea senzorilor accelerometrici în zona lombară [109]	53



---

Figura 2.38. Analiză realizată cu ajutorul aplicației APECS .....	54
Figura 3.1. Mișcări corective utilizate în metoda clasică de kinetoterapie .....	57
Figura 3.2. Exerciții ce aparțin metodei Schroth .....	58
Figura 3.3. Exemple exerciții metoda SEAS.....	59
Figura 3.4. Exemple exerciții metoda Side Shift.....	59
Figura 3.5. Exemplu exercițiu din patrupedie metoda DoboMed.....	60
Figura 3.6. Exerciții specifice metodei Mézières .....	62
Figura 4.1. Metoda de calcul a unghiului Cobb [115].....	64
Figura 4.2. Graficele funcțiilor polinomiale de grad 0, 1 și 2 [116] .....	66
Figura 4.3. Graficele funcțiilor polinomiale de grad 3, 4 și 5 [116] .....	66
Figura 4.4. Graficele funcțiilor polinomiale de grad 6 și 7 [116].....	67
Figura 4.5. 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.....	70
Figura 4.6. a) Radiografia coloanei examinate RX; b) Model matematic al coloanei calculat.....	72
Figura 5.1. a) Schema echipamentului a datelor de la accelerometre. b) Poziționarea senzorilor pe apofizele spinose .....	74
Figura 5.2. Cele 9 puncte de achiziție și unghiurile Cobb .....	75
Figura 5.3. 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 .....	76
Figura 5.4. Camera FLIR B200 .....	77
Figura 5.5. Serie de patru imagini preluate înainte de exerciții (a) și după cele trei exerciții.....	78
Figura 6.1. Interfața programului în Matlab.....	81
Figura 6.2. a) Poziționarea subiectului testat, b) Reprezentarea grafică a coloanei în Matlab.....	81
Figura 6.3. a) Imaginea preluată, b) Forma coloanei rezultată prin modelare ..	83
Figura 6.4. a) Imaginea preluată, b) Forma coloanei rezultată prin modelare ..	83

## 10 Lista figurilor

---

Figura 6.5. a) Imaginea preluată, b) Forma coloanei rezultată prin modelare ..	84
Figura 6.6. a) Imaginea preluată, b) Forma coloanei rezultată prin modelare ....	85
Figura 6.7. a) Imaginea preluată, b) Forma coloanei rezultată prin modelare ....	85
Figura 6.8. Reprezentarea grafică a exercițiilor selectate pentru analiză .....	87
Figura 6.9. Poziționarea senzorilor pe spatelul unui subiect participant la studiu	87
Figura 6.10. Modelul coloanei vertebrale calculat cu ajutorul polinomului de aproximare.....	89
Figura 6.11. Model coloană în ortostatism a), Mezieres b), Schroth c) și atârnat d)– pacient 1 .....	91
Figura 6.12. Model coloană în ortostatism a), Mezieres b), Schroth c) și atârnat d)–pacient 2 .....	91
Figura 6.13. Model coloană în ortostatism a), Mezieres b), Schroth c) și atârnat d)– pacient 3 .....	92
Figura 6.14. Model coloană în ortostatism a), Mezieres b), Schroth c) și atârnat d)– pacient 4 .....	92
Figura 6.15. Model coloană în ortostatism a), Mezieres b), Schroth c) și atârnat d)– pacient 5 .....	93
Figura 6.16. Model coloană în ortostatism a), Mezieres b), Schroth c) și atârnat d)– pacient 6 .....	93
Figura 6.17. Model coloană în ortostatism a), Mezieres b), Schroth c) și atârnat d) – pacient 7 .....	94
Figura 6.18. Model coloană în ortostatism a), Mezieres b), Schroth c) și atârnat d) – pacient 8 .....	94
Figura 6.19. Model coloană în ortostatism a), Mezieres b), Schroth c) și atârnat d) – pacient 9 .....	95
Figura 6.20. Exemple de vizualizare a scoliozei prin intermediul camerei termografice înainte de execuția exercițiilor .....	97
Figura 6.21. Achiziția de imagini termografice a) înainte de începerea exercițiilor, .....	97
Figura 6.22. a) Imaginea radiologică a scoliozei, b) Imaginea termografică a scoliozei .....	98
Figura 6.23. Reprezentarea grafică a temperaturilor înregistrate la suprafața corpului .....	99
Figura 6.24. Analiza statistică pentru zona toracală .....	101
Figura 6.25. Analiza statistică pentru zona toracală .....	101
Figura 6.26. Poziționarea senzorilor și a camerei termografice .....	104
Figura 6.27. Exercițiilor din metoda Schroth luate spre analiză .....	106
Figura 6.28. Evaluarea inițială în ortostatism (a), evaluarea exercițiului din decubit ventral (b), evaluarea exercițiului din decubit lateral (c).....	106
Figura 6.29. Reprezentarea grafică a evoluției temperaturilor înregistrate ....	107
Figura 6.30. Temperaturi înregistrate la nivelul spatelului subiecților evaluați ..	108
Figura 6.31. Exercițiile din gimnastica clasică luate în analiză.....	109
Figura 6.32. a) Evaluarea inițială, b) Evaluare după exercițiul Cotrel cu membrele inferioare .....	110
Figura 6.33. Evaluarea exercițiului din decubit lateral cu abducția membrului inferior.....	110
Figura 6.34. Reprezentarea grafică a modificării temperaturilor la suprafața spatelului.....	111
Figura 6.35. Temperaturi înregistrate în zona lombară la cei 7 subiecți luați în studiu .....	112

---

Figura 6.36. a) Evaluare inițială, b) Evaluare exercițiu din decubit lateral cu adducția brațului de partea convexității, c) Evaluare exercițiu din decubit ventral cu deplasarea brațelor .....	113
Figura 6.37. Reprezentarea grafică a modificărilor temperaturilor de la suprafața spatelui.....	113
Figura 6.38. Temperaturi înregistrate în zona toracală la cei 7 subiecți luați în studiu .....	114
Figura 6.39. Exercițiile alese spre analiză în cadrul experimentului. ....	116
Figura 6.40. Subiectul 1 fără scolioză a) imagine achiziționată inițial, b) imagine achiziționată .....	116
Figura 6.41. Subiectul 2 fără scolioză a) imagine achiziționată inițial, b) imagine achiziționată .....	117
Figura 6.42. Subiectul 3 fără scolioză a) imagine achiziționată inițial, b) imagine achiziționată .....	117
Figura 6.43. Subiectul 1 cu scolioză a) imagine achiziționată inițial, b) imagine achiziționată .....	118
Figura 6.44. Subiectul 2 cu scolioză a) imagine achiziționată inițial, b) imagine achiziționată .....	118
Figura 6.45. Subiectul 3 cu scolioză a) imagine achiziționată inițial, b) imagine achiziționată .....	119
Figura 6.46. Subiect cu scolioză 1: a) imagine preluată la începutul experimentului 1 .....	120
Figura 6.47. Subiect cu scolioză 2: a) imagine preluată la începutul experimentului 1 .....	120
Figura 6. 48. Subiect cu scolioză 3: a) imagine preluată la începutul experimentului 1 .....	120

## LISTA TABELELOR

Tabelul 2.1. Valorile mișcărilor de flexie și extensie, prima valoare după Sbenche [7] .....	18
Tabelul 2.2. Valorile mișcărilor de înclinare laterală spre dreapta și spre stânga, .....	19
Tabelul 2.3. Valorile mișcărilor de rotație axială spre dreapta și spre stânga, .	19
Tabelul 2.4. Valoarea medie a mișcărilor specifice ale coloanei vertebrale după Muscolino .....	19
Tabel 4. 1. Coordonatele punctelor utilizate în modelare .....	68
Tabel 4. 2. Valorile unghiurilor Cobb măsurate pe RX și prin calcul matematic	69
Tabel 4. 3. Coordonatele punctelor utilizate în modelare .....	70
Tabel 4. 4. Valorile unghiurilor Cobb calculate de radiolog și prin calcul matematic .....	72
Tabelul 5.1. Specificațiile camerei FLIR B200 .....	78
Tabelul 6.1. Comparatie între valorile unghiurilor Cobb calculate pe RX.....	80
Tabelul 6.2. Valorile unghiurilor Cobb în timpul exercițiilor luate în studiu, .....	88
Tabelul 6.3. Valorile unghiurilor Cobb calculate matematic în timpul efectuării exercițiilor .....	90
Tabelul 6.4. Modificări ale temperaturilor înregistrate cu termograful Flir B200 .....	99
Tabelul 6.5. Analiză statistică temperaturi la nivelul zonei toracale .....	102
Tabelul 6.6. Analiză statistică temperature la nivelul zonei lombare .....	102
Tabelul 6.7. Valorile Unghiurilor Cobb prezentate comparativ .....	104
Tabelul 6.8. Modificarea temperaturii la suprafața corpului inițial și după fiecare exercițiu efectuat .....	104

# 1. INTRODUCERE

În ultimii ani tot mai multe persoane dau o atenție crescută poziției corpului și se adresează specialiștilor posturologi, 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 corelează cu instalarea obezității și a problemelor 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. Din păcate, efectuarea unei radiografii 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 pot fi vătămătoare. În ultimii ani s-a încercat dezvoltarea unor noi metode de investigare, neinvazive și nedureroase care să ajute la depistarea precoce dar și la observarea evoluției în timp a posturii. Cercetătorii au propus utilizarea ultrasunetului, a camerelor de preluare digitală a imaginii, a senzorilor de mișcare, a senzorilor accelerometrici etc. Toate aceste studii au urmărit observarea poziției coloanei vertebrale și a trunchiului la un moment dat în spațiu.

\*\*\*

Teza este structurată pe 7 capitole, care conțin stadiul actual al cunoștințelor în domeniu (capitolele 2 și 3), rezultatul cercetărilor teoretice originale (capitolul 4), descrierea echipamentelor utilizate în cadrul cercetărilor (capitolul 5), prezentarea pe larg a cercetărilor experimentale (capitolul 6) și concluziile, respectiv direcțiile de cercetare ulterioare (capitolul 7), la care se adaugă bibliografia.

Capitolul 2, intitulat **Stadiul actual privind metodele de investigare a deformațiilor coloanei vertebrale**, prezintă o sinteză atât a cunoștințelor de anatomie și biomecanică a coloanei vertebrale, cât și a deviațiilor coloanei în plan frontal (definiție, etiologie, clasificare) și a metodelor de investigare a acestora.

Primul paragraf prezintă elemente de anatomie și biomecanică a coloanei vertebrale.

Al doilea paragraf definește și clasifică pe diverse criterii scoliozele, precum și tratamentele care se pot aplica în prezent.

Paragraful al treilea prezintă metode de investigare a coloanei vertebrale, utilizând cele mai diverse principii. Sunt descrise, analizate critic, cu evidențierea avantajelor și dezavantajelor, următoarele metode:

- preluarea imaginilor prin radiologie clasică;
- tomografia computerizată;
- imagistica bazată pe rezonanța magnetică nucleară;
- topografia Moiré;
- scanarea optică prin sisteme tip ISIS;
- rasterstereografia computerizată;
- maparea ultrasonică digitală;

- maparea tridimensională prin preluare digitală de imagine;
- termografia;
- senzorul Kinect;
- senzorii accelerometrici.

Capitolul 3 al tezei intitulat **Studiu actual privind metodele de Kinetoterapie utilizate în reabilitarea scoliozei**, este dedicat descrierii metodelor de kinetoterapie destinate corectării scoliozelor și prezintă pe larg specificul exercițiilor utilizate și obiectivele urmărite de fiecare metodă în parte. Exerciții specifice acestor metode vor fi analizate ulterior în cadrul studiilor experimentale

Din studiul bibliografic extins, a cărei sinteză este expusă în capitolele 2 și 3, rezultă direcțiile de cercetare ale tezei, pentru care sunt formulate **obiectivele** principale ale acesteia:

- proiectarea și realizarea unui stand experimental, care să permită achiziția de date numerice caracteristice pentru coloana vertebrală, modelarea formei acesteia și calculul matematic al unghiurilor Cobb. Metoda de investigare aplicată trebuie să fie non-invazivă, nedureroasă. Echipamentul este dorit să aibă caracter mobil, astfel încât determinările să poată fi realizate în orice spațiu, respectiv 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
- evaluarea eficienței programelor de exerciții de recuperare a scoliozelor, care aparțin unor metode diferite de tratament, prin utilizarea echipamentului propus, respectiv a modelelor generate.
- utilizarea termografiei în studiul eficienței activării musculaturii spatelui în cazul exercițiilor specifice programelor de recuperare a scoliozelor.

Capitolul 4, **Coloana vertebrală și deformațiile posturale în plan frontal – modelare matematică**, explorează posibilitățile de modelare matematică a formei coloanei și de calcul analitic al unghiurilor Cobb. Formularea problemei pornește de la ipoteza cunoașterii unui număr de puncte de precizie, care să fie utilizate în determinarea unei funcții analitice de aproximare. Dintre clasele de funcții de aproximare disponibile se optează pentru clasa polinoamelor, care sunt convenabile din punct de vedere al graficului și volumului de calcul. În conținutul capitolului sunt ilustrate numeric și grafic modelele rezultate prin aproximare cu polinoame de grad 4, 5 și 8. Modelele sunt valide, coeficienții de corelație fiind în toate cazurile mai mari de 0.85.

În paragraful al doilea sunt prezentate două încercări de utilizare a polinoamelor de aproximare în cazul a doi subiecți umani pentru care se cunoșteau unghiurile Cobb de pe radiografii și pentru care s-a reușit modelarea matematică a formei coloanei vertebrale și calculul unghiurilor Cobb.

Capitolul 5, **Echipele utilizate în cadrul cercetărilor experimentale**, prezintă dispozitivele utilizate pe parcursul studiilor doctorale. S-au desfășurat cercetări care utilizează două tipuri de echipamente: un sistem de achiziție a coordonatelor unor puncte de pe coloana vertebrală cu ajutorul a opt senzori de tip accelerometric și, respectiv, o cameră termografică.

În primul paragraf este prezentat sistemul de achiziție compus din accelerometre. Senzorii sunt atașați pe tegument, deasupra apofizelor vertebrale și citirea, respectiv stocarea datelor transmise cu o frecvență impusă, fac posibilă urmărirea variației curburilor vertebrale în timp. Pentru prelucrare, este utilizat numai unghiul care permite determinarea coordonatelor vertebrelor în plan frontal, având cunoscută

distanța dintre senzori. Cele opt seturi de coordonate, la care se adaugă originea unui sistem ortogonal atașat coloanei, sunt utilizate pentru modelarea formei și calculul unghiurilor Cobb. Validarea metodei s-a realizat prin compararea datelor furnizate de senzori cu valori considerate de referință, prelevate de pe imagini fotografice simultane cu achiziția de date numerice.

Al doilea echipament utilizat are la bază o cameră termografică, destinată preluării de imagini înainte de începerea exercițiilor, în diferite etape ale acestora și la finalul fiecărui exercițiu de kinetoterapie. Urmărirea variației de temperatură la nivelul a diverse formațiuni musculare pornește de la considerația că temperatura este direct proporțională cu intensitatea activității musculare.

Capitolul 6, intitulat **Cercetări experimentale**, prezintă în detaliu modul de desfășurare a experimentelor în care s-au utilizat cele două echipamente pentru evaluarea eficienței exercițiilor din programele de recuperare a scoliozei.

În primul paragraf al capitolului sunt descrise experimentele realizate cu ajutorul sistemului cu accelerometre, care a permis determinarea unghiurilor Cobb, atât în ortostatism cât și în diferite secvențe de mișcare realizate de subiecți diagnosticați cu scolioză. Protocolul a fost aplicat pe un număr de 9 subiecți diagnosticați cu scolioză și care au fost de acord să participe voluntar la cercetare. Au fost analizate exerciții care aparțin diferitelor metode de reabilitare specifice scoliozelor (Schroth, Mézières, gimnastica clasică medicală) pentru a stabili care dintre acestea sunt mai eficiente, plecând de la considerentul că eficacitatea mișcării este cu atât mai mare cu cât unghiul Cobb se micșorează în timpul exercițiului.

În paragraful al doilea sunt descrise cercetări experimentale în care s-a utilizat termograful FLIR B200 și care a făcut posibilă urmărirea activării musculaturii în timpul exercițiilor. Au fost efectuate două cercetări diferite: o cercetare în care au participat persoane cu scolioză și în care s-au analizat exerciții specifice și o altă cercetare în care au participat atât persoane cu scolioză cât și persoane fără deviații de postură. Acest ultim experiment a vizat evaluarea unor exerciții care sunt des indicate în cadrul programelor de recuperare cu scopul tonifierii musculaturii spatelui.

Capitolul 7, **Concluzii și contribuții personale**, sintetizează concluziile cercetărilor din teză și formulează principalele contribuții originale din cuprinsul acesteia.

## 2. STADIUL ACTUAL PRIVIND METODELE DE INVESTIGARE A DEFORMAȚIILOR COLOANEI VERTEBRALE

### 2.1. Elemente de bază ale anatomiei și biomecanicii coloanei vertebrale

#### 2.1.1. Noțiuni introductive asupra coloanei vertebrale

Coloana vertebrală, numită și rahis, reprezintă axul osos median al corpului uman fiind alcătuită din 33-34 de vertebre suprapuse de la nivelul bazinului până la baza craniului. Sunt descrise 5 regiuni: cervicală (7 vertebre), toracală (12 vertebre), lombară (5 vertebre), sacrată (5 vertebre) și coccigiană (4-5 vertebre). Vertebrele de la nivel cervical, toracal și lombar sunt mobile și independente, din acest motiv numindu-se vertebre adevărate, în timp ce la nivelul sacrului și coccigelui, vertebrele suferă un fenomen de sudare fiind denumite vertebre false. Păstrarea independenței structurale a vertebrelor adevărate determină la nivelul coloanei posibilitatea de a realiza mișcări cu diferite grade de amplitudine în zonele cervicale, toracale și lombare, dar și formarea unor curburi fiziologice în plan sagital. Astfel, în plan antero-posterior se descriu după Kapandji următoarele curburi: curbura lordotică în zona cervicală și lombară, cu convexitatea orientată anterior, și curbura cifotică în zonele toracală și sacrococcigiană 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]. În Figura 2.1 este prezentată imaginea coloanei vertebrale normale din plan antero-posterior și din plan frontal.

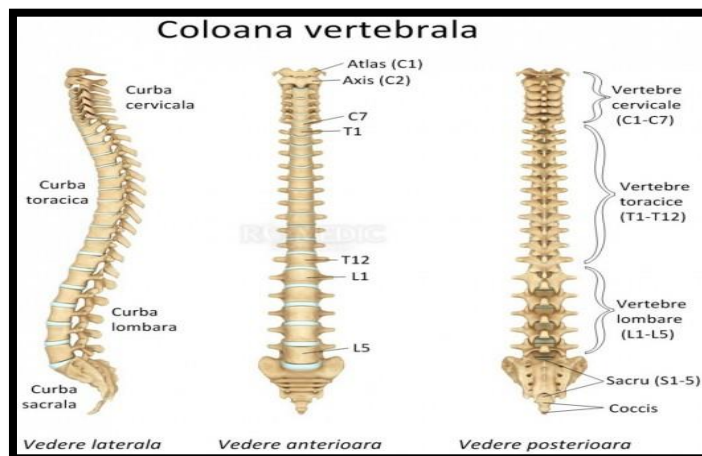


Figura 2.1 Aspectul coloanei vertebrale privită din lateral, anterior și posterior [3]

Curburile în plan sagital cresc rezistența rahisului la compresiile verticale. În evoluția ontogenetică, coloana vertebrală își modifică forma în plan sagital de la o



singură curbură cifotică din zona cervicală până în zona lombară încă din viața intrauterină, până la apariția celor patru curburi fiziologice specifice stațiunii bipede. Forma definitivă a coloanei în plan sagital se poate observa în jurul vârstei de 10 ani [1].

Rezistența coloanei vertebrale se calculează după formula:

$$R=n^2+1, \quad (2.1)$$

n - fiind numărul curburilor coloanei vertebrale în plan sagital.

Prin urmare, rezistența coloanei la compresiile axiale este mai mare dacă există cele 4 curburi fiziologice și scade dacă apare o rectilizare a unora dintre acestea. Coloana vertebrală normală are un indice de rezistență egal cu 17 ( $4^2+1$ ) în timp ce o coloană rectilinie are un indice de rezistență egal cu 1 [4]. Acest lucru are o importanță mare în recuperarea deviațiilor de postură frontale deoarece acestea se acompaniază fie de exagerarea fie de reducerea sau ștergerea curburilor sagitale. Rotația și înclinarea corpurilor vertebrale din scoliozele structurale se pot reduce doar însoțite de normalizarea curburilor sagitale.

### 2.1.2. Elemente de anatomie vertebrală

Coloana vertebrală se formează prin suprapunerea celor 33-34 de elemente osoase. Vertebrele adevărate, din zona cervicală, toracală și lombară, prezintă o serie de elemente constitutive comune[5]:

- **corpul vertebral**, voluminos, având formă aproximativ cilindrică;
- **arcul vertebral** (cu formă de potcoavă) compus din două lamele vertebrale, procesul spinos, 2 procese transversare, patru procese articulare (două superioare și două inferioare);
- **pediculi vertebrali** (unesc corpul vertebral cu arcul vertebral);
- **gaura vertebrală** (delimitată de corpul vertebral anterior, arcul vertebral posterior și cei doi pediculi vertebrali în lateral).

Astfel, din punct de vedere anatomic și funcțional, la nivelul coloanei vertebrale deosebim:

- **pilierul anterior** reprezentat de corpurile vertebrale, cu rol în statica corporală
- **pilierul posterior** reprezentat de suprapunerea arcurilor vertebrale, cu rol în dinamica coloanei vertebrale.

Elementele de legătură a componentelor osoase sunt reprezentate de:

- **discul intervertebral** cu rol important atât în statica cât și în dinamica coloanei vertebrale;
- **ligamentul vertebral longitudinal anterior** dispus pe fața anterioară a pilierului anterior, având rol în stabilizarea corpurilor vertebrale și limitarea mișcării de extensie;
- **ligamentul vertebral longitudinal posterior** dispus pe fața posterioară a corpurilor vertebrale și care are rol în limitarea mișcării de flexie;
- **ligamentul galben** care se găsește pe fața posterioară a canalului rahidian având rol în menținerea coloanei vertebrale în poziția ortostatică și limitarea mișcărilor bruște care ar putea periclita discul intervertebral;
- **ligamentul interspinos** localizat între spațiile interspinoase;
- **ligamentul supraspinos** care este o structură fibroasă puternică situată deasupra apofizelor spinoase ca un cordon longitudinal;

- **ligamentul intertransversar** situat între procesele transverse vertebrale;
- **ligamentul interapofizar** este foarte puternic cu rol în stabilizarea capsulei articulațiilor interapofizare.

Vertebrelor toracale se articulează în lateral cu coastele care se orientează spre anterior, spre stern iar aceste formațiuni (vertebrele toracale, sternul și coastele) alcătuiesc toracele osos. Toate formațiunile amintite se pot modifica la rândul lor atunci când coloana vertebrală suferă deformații patologice apărând gibusul caracteristic scoliozei.

De o parte și de alta a coloanei vertebrale sunt dispuse planuri musculare pe mai multe straturi. Astfel, se deosebesc:

- primul strat: mușchiul trapez și mușchiul dorsal mare;
- stratul al doilea: mușchiul romboid, mușchii dințați posteriori, superior și inferior și mușchiul splenius;
- stratul al treilea: mușchiul extensor al coloanei vertebrale (mușchiul iliocostal, mușchiul longissimus și mușchiul spinal);
- al patrulea strat: mușchiul semispinal, mușchiul multifid, mușchii rotatori ai coloanei vertebrale;
- al cincilea strat: mușchii interspinioși, mușchii intertransversali, mușchii rotatori ai capului, mușchii ridicători ai coastelor și mușchii sacrococcigieni [6].

### 2.1.3. Noțiuni de biomecanică vertebrală

În ansamblul ei, coloana vertebrală este considerată, după Kapandji, o articulație cu trei grade de libertate. Mișcările ce pot fi realizate de această structură sub acțiunea mușchilor sunt: flexie și extensie, înclinare laterală spre dreapta și spre stânga (denumită și flexie laterală), rotație axială și circumducție.

**Mișcările de flexie și extensie** se realizează într-un plan sagital și au diferite grade de amplitudine în funcție de zona implicată în mișcare. Mișcarea de flexie reprezintă înclinarea spre înainte a trunchiului, iar extensia reprezintă mișcarea de înclinare spre înapoi a trunchiului. În Tabelul 2.1 sunt prezentate valorile acestor mișcări, regăsite în literatura română (Sbenghe) și literatura străină (Kapandji).

Tabelul 2.1. Valorile mișcărilor de flexie și extensie, prima valoare după Sbenghe [7] și a doua valoare după Kapandji [1]

Mișcare	Coloana cervicală	Coloana toracală	Coloana lombară	Coloana în ansamblu
Flexie	30-45°/40°	50-55°/45°	40°/ 60°	110-135°/140°
Extensie	35-45°/60°	25-30°/40°	35°/ 20°	50-75°/ 110°

Aprecierea exactă a amplitudinii de mișcare se poate realiza doar sub control radiologic. Unii autori prezintă valori medii calculate [7], iar alții valori maxime măsurate [1]. Valorile pot varia foarte mult și în funcție de vârsta subiectului testat.

**Mișcările de înclinare laterală spre dreapta și spre stânga** se realizează într-un plan frontal, în jurul unor axe antero-posterioare care trec prin articulațiile ce participă la realizarea acestor mișcări. În Tabelul 2.2 sunt prezentate valorile înclinărilor laterale spre dreapta și spre stânga așa cum sunt regăsite la cei doi autori amintiți mai sus.

Tabelul 2.2. Valorile mișcărilor de înclinare laterală spre dreapta și spre stânga, prima valoare după Sbhenge [7] și a doua valoare după Kapandji [1]

Mișcare	Coloană cervicală	Coloană toracală	Coloană lombară	Coloană în ansamblu
Înclinare spre dreapta	45°/35°-45°	20°/20°	20°/20°	85° /75°-85°
Înclinare spre stânga	45° /35°-45°	20°/20°	20°/20°	85° /75°-85°

Este dificil de măsurat clinic înclinarea laterală specifică fiecărei zone a coloanei vertebrale. Cele mai acurate măsurări se pot realiza sub control radiologic.

**Mișcările de rotație axială spre dreapta și spre stânga** se realizează într-un plan transversal de-a lungul unei axe verticale. În Tabelul 2.3 sunt prezentate valorile rotației axiale așa cum sunt regăsite în literatura de specialitate.

Tabelul 2.3. Valorile mișcărilor de rotație axială spre dreapta și spre stânga, prima valoare după Sbhenge [7] și a doua valoare după Kapandji [1]

Mișcarea	Coloană cervicală	Coloană toracală	Coloană lombară	Coloană în ansamblu
Rotație axială spre dreapta	60°/45°-50°	35°/35°	5°/5°	105°/90°
Rotație axială spre stânga	60°/45°-50°	35°/35°	5°/5°	105°/90°

Clinic este deosebit de dificil să se măsoare gradul de rotație vertebrală pe diferite segmente dar în cadrul unor studii s-au efectuat măsurări pe imagini realizate cu computer tomograful.

Rotația axială a corpurilor vertebrale însoțește întotdeauna înclinarea laterală a coloanei. Cele două mișcări se combină în mod fiziologic datorită compresiei discurilor vertebrale pe de o parte și a tensionării ligamentelor pe de altă parte. Atunci când apar perturbări într-una din cele două componente (disc sau ligamente), rotația poate deveni permanentă, secundar apărând tulburări de postură. Ca urmare, apar scoliozele, deviații ale coloanei vertebrale ce combină flexia laterală permanentă a coloanei cu rotația axială a corpurilor vertebrale [4].

De cele mai multe ori literatura de specialitate ia în discuție mobilitatea întregii coloane vertebrale (AROM- AVERAGE RANGES OF MOTION) din poziție anatomică, aceasta incluzând și articulația atlanto-occipitală [8-10]. În Tabelul 2.4 este prezentată mobilitatea generală a coloanei vertebrale după Muscolino [8].

În funcție de autor, se pot găsi în literatura de specialitate valori medii sau valori ideale ale gradelor de mișcare specifice coloanei vertebrale.

Tabelul 2.4. Valoarea medie a mișcărilor specifice ale coloanei vertebrale după Muscolino[8]

Mișcare	Valoare normală	Mișcare	Valoare normală
Flexie	135°	Extensie	120°
Flexie laterală dreapta	90°	Flexie laterală stânga	90°
Rotație dreapta	120°	Rotație stânga	120°

Toate aceste valori pot varia de asemenea și în funcție de vârsta, genul sau modalitatea de evaluare (clinic sau paraclinic).

## **2.2. Deviațiile coloanei vertebrale în plan frontal – Scolioza**

### **2.2.1. Definiția scoliozei**

Postura corectă a corpului uman în spațiu este rezultatul unui echilibru atât pe plan fizic cât și pe plan psihic, păstrat în decursul dezvoltării organismului. Abaterea 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 și adoptarea unor poziții greșite, în mod repetat, pe o perioadă mai lungă de timp, pentru ca apoi să devină 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 [11]. 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 (Figura 2.2).

Definiția dată de Corneliu Zaharia pare a fi cea mai completă: „Scolioza este o boală evolutivă caracterizată printr-una sau mai multe curburi laterale ale coloanei vertebrale, vizibile în plan frontal, însoțite de rotația vertebrelor, cu tendință la compensare superioară și inferioară a curburilor, dar fără tendință la reducere completă a acestora prin suspendare sau decubit și cu răsunet asupra morfologiei trunchiului” [2].

În cazul scoliozei se dezvoltă o curbură primară în plan frontal și compensator, în sens opus, apar curburi supra- și subiacente. Pe lângă înclinarea laterală, vertebrele suferă și o rotație spre partea convexă a curburii. Dacă scolioza afectează zona toracală a coloanei atunci apar modificări ale întregii cutii toracice: coastele de partea convexității se depărtează între ele și se bombează posterior formând gibozitatea, coastele de partea concavității se aplatizează și se apropie între ele, în timp ce corpii vertebrali, suferind modificări structurale, devin asimetrici [12].

Astfel, scolioza structurală (adevărată) reprezintă o deformare tridimensională a coloanei vertebrale caracterizată de prezența unei deviații în plan frontal (înclinare laterală așa cum se poate observa în Figura 2.2), a unei deviații în plan sagital (exagerarea sau diminuarea cifozei și lordozei fiziologice) și a unei deviații în plan orizontal (sub forma rotației vertebrale) [13, 14].

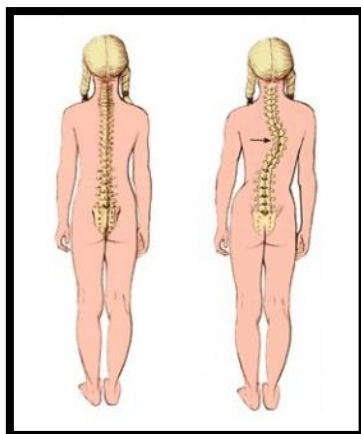


Figura 2.2. Coloana vertebrală vedere din posterior – stânga poziția normală a coloanei; dreapta o coloană afectată de scolioză [15]

Modificările suferite de coloana vertebrală în urma instalării unei scolioze pot fi observate în Figura 2.3.

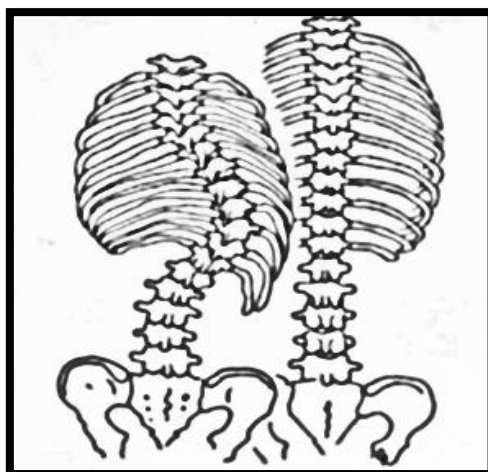


Figura 2.3. În stânga, coloana vertebrală afectată de scolioză. În dreapta, coloana vertebrală normală [16]

### 2.2.2. Etiopatogenia scoliozei

În ciuda numeroaselor studii realizate până în momentul de față, cauza care determină apariția și evoluția unei scolioze nu este pe deplin elucidată. Există o serie de factori intrinseci și extrinseci care au fost incriminați în apariția scoliozelor [2, 14].

➤ Factori intrinseci

- determinarea genetică: studiile au demonstrat că un procent între 30-50% dintre copiii cu scolioză au avut o rudă de gradul I, II sau III care a dezvoltat o deviație la nivelul coloanei vertebrale, iar proporția genului feminin este mult mai mare, mai ales în cazul scoliozelor severe.
- anomalii ale discului vertebral: discul intervertebral prezintă unele modificări în compoziția nucleului pulpos, acesta fiind mai sărac în protoglicani și mai bogat în collagen.
- anomalii în creșterea osoasă a corpurilor vertebrale: s-a demonstrat statistic că înălțimea copiilor diagnosticați cu scolioză este mai mare decât a copiilor de aceeași vârstă și de asemenea există la aceștia o dezvoltare asimetrică între zona de partea concavă și zona de partea convexă a corpului vertebral
- poziția ortostatică: datorită poziției bipede a omului care face ca centrul de greutate să se poziționeze deasupra pelvisului în timpul deplasării apar deviații ale rahisului atât în plan sagital cât și frontal. La patrupeze nu s-a observat prezența scoliozelor.

➤ Factori extrinseci

- anomalii în producerea de melatonină: studiile au arătat că în cazul copiilor diagnosticați cu scolioză evolutivă nivelul de melatonină este semnificativ scăzut în raport cu al copiilor cu scolioză neevolutivă sau cu cei sănătoși.
- dezechilibrul musculaturii paravertebrale: studii electromiografice au evidențiat un dezechilibru de tonus muscular în musculatura paravertebrală care are un rol important în menținerea stabilității.
- anomalii ale funcționării sistemului nervos: unele scolioze se dezvoltă secundar unor afecțiuni neurologice cu afectare centrală sau periferică, anomalii proprioceptive, vestibulare sau de control postural.
- modificări ale densității osoase: studiile realizate pe pacienții diagnosticați cu scolioză au evidențiat o scădere a densității minerale osoase față de pacienții sănătoși.

### 2.2.3. Clasificarea scoliozelor

Principala clasificare a scoliozelor este **în funcție de prezența sau absența modificărilor la nivel structural** a coloanei vertebrale [2]:

- scolioze nestructurale (denumite și scolioze funcționale sau atitudini scoliotice) sunt caracterizate de prezența unei curburi în plan frontal care este reductibilă. În cazul acestui tip de scolioză lipsește rotația vertebrală și gibusul costal iar la flexia înainte a trunchiului sau în poziția culcat curbura dispăre. La rândul ei, scolioza funcțională este clasificată în:
  - *scolioză funcțională primară* (specifică fetelor), caracterizată de obicei prin prezența unei curburi lungi, umeri căzuți și bazin asimetric. Poate fi corectată cu ușurință prin conștientizare și tonifierea musculaturii spatelui.
  - *scolioza funcțională secundară* cauzată în general de inegalitatea membrilor (aparentă sau reală). De partea membrului inferior scurtat bazinul este căzut, trăgând după sine și coloana vertebrală lombară (convexitate de partea membrului inferior mai scurt). Prin corectarea diferenței de lungime, curbura se poate corecta, dar dacă intervenția nu este făcută la timp, se poate ajunge la o scolioză structurală.

- *scolioză paralică* cauzată de scăderea forței musculare în cadrul a diferite boli. Aceasta poate deveni structurală în timp.
  - *scolioza antalgică* apare în faza acută, în cazul herniei de disc sau a unui torticolis, însă odată cu calmarea durerii, dispare și poziția vicioasă a coloanei vertebrale
- scolioze structurale (denumite scoliozele adevărate) sunt caracterizate de modificări tridimensionale a structurilor vertebrale. În plan frontal coloana prezintă una sau mai multe curburi, în plan transversal apare rotația corpilor vertebrali iar în plan sagital cresc sau scad curburile fiziologice lordotice sau/și cifotice. Prin urmare corpul vertebral și procesele transversale se modifică în toate direcțiile spațiului iar rotația axială a corpilor, unul în raport cu celălalt va determina modificări costale cu apariția ghibusului posterior de partea convexității și a ghibusului anterior de partea concavității. Aceste modificări osoase vor atrage după sine și modificări ale altor țesuturi: mușchi, ligamente, discuri intervertebrale.

Scoliozele structurale pot fi clasificate astfel:

- *scolioze structurale cu origine cunoscută* cum este cazul malformațiilor congenitale (hemivertebră, bloc vertebral, fuziune costală)
- *scolioze secundare unor afecțiuni dobândite* (traumatisme, boli neurologice, maladii constituționale, boli musculare, etc).
- *scolioze idiopatice*, fără cauză cunoscută (reprezintă aproximativ 80% din totalul scoliozelor). Acestea se împart la rândul lor în: scolioze infantile (de la 0 la 3 ani), scolioze juvenile (de la 4 la 10 ani), scolioza adolescentului (după vârsta de 11 ani) și scolioza adultului (cu debut în adolescență).

Clasificarea scoliozelor **după direcții și localizare** (după SOSORT) se face pe categoriile [11, 17]:

- *scolioza cu o singură curbură toracală* reprezintă 25% din totalul scoliozelor idiopatice și în majoritatea cazurilor convexitatea este orientată spre dreapta (scolioza toracală dextroconvexă). Se întinde între T2 și T11, apexul curburii fiind vertebra T8 sau T9, iar superior și inferior acestei curburii se dezvoltă compensări în partea opusă. Dezechilibrul centurii scapulare este prezent în majoritatea cazurilor, iar evoluția este rapidă putând fi afectate aparatele cardiac și respirator.
- *scolioza toracolombară* reprezintă 20% din totalul scoliozelor idiopatice și are vârful curburii la nivelul vertebrelor T11, T12 sau L1. Are în general un prognostic nefavorabil.
- *scolioza lombară* are apexul în zona lombară a coloanei între L2 și L4 iar acest tip de scolioză nu atrage după sine o modificare a toracelui sau a umerilor. Poate dezvolta superior spre torace sau inferior spre sacru curburi compensatorii dar valorile unghiului de înclinare nu sunt foarte mari. Reprezintă 25% din totalul scoliozelor idiopatice și în majoritatea cazurilor convexitatea este orientată spre stânga.
- *scolioza cervico-toracală* este mult mai rar întâlnită și reprezintă 1% din totalul scoliozelor. Vârful curburii este la nivelul C7 sau T1 și prezintă un dezechilibru la nivelul umerilor și o înclinare a capului și gâtului.
- *scolioza cu dublă curbură* reprezintă 30% din totalul scoliozelor idiopatice, se caracterizează prin prezența unei curburii toracale și alta lombară. În general vertebrele vârf sunt T9 și L2. Atunci când rotația vertebrală este aproximativ

egală la nivelul celor două curburi, cea care iese în evidență este rotația. Din păcate nici în acest caz prognosticul nu este favorabil.

- *scolioza dublă toracală* reprezintă 1% din totalul scoliozelor și ambele vertebre vârf se localizează la nivel dorsal. Curbura superioară se întinde de la C7 la T6 și are convexitatea spre stânga în general iar curbura inferioară de la T6 la T12 are convexitatea inversă celei superioare. Este un tip de scolioză dificil de monitorizat și poate atrage după sine probleme cardiace și respiratorii majore.

Clasificarea **în funcție de amplitudinea unghiului de înclinare și de reductibilitatea curburii numită și clasificarea KING** a fost introdusă în literatura de specialitate în anul 1983 după cum urmează [18]:

- **tipul I:** scolioză dublă majoră toracală și lombară ambele curburi trecând peste linia mediană iar curbura lombară este mai mare.
- **tipul II:** scolioză dublă majoră toracală și lombară, ambele asemănătoare ca mărime și ambele trec de linia mediană.
- **tipul III:** curbura toracală scurtă iar curbura lombară compensatorie nu trece de linia mediană fiind aliniată perfect cu sacrul.
- **tipul IV:** curbura toraco-lombară lungă ce se întinde până la L4, curbura lombară scurtă nu este aliniată cu sacrul.
- **tipul V:** curbura dublă toracală ce pornește de la T1 și antrenează coastele.

Clasificarea **Lenke** ia în discuție și modificările în plan sagital [18-21] pe care le are coloana afectată de scolioză (fig. 2.4.):

- **tipul 1:** scolioză toracală cu curbura structurală primară și care poate fi acompaniată de compensare superioară și/sau inferioară fără modificări structurale.
- **tipul 2:** dublă scolioză toracală, în care există o curbura structurală toracală primară și una compensatorie toracală superioară de asemenea structurală dar mai mică, iar compensarea toracolombară sau lombară există dar este nestructurală.
- **tipul 3:** scolioză dublă în care există o curbura toracală structurală majoră și o altă curbura structurală lombară egală sau mai mică, iar compensarea superioară toracală poate fi prezentă dar este nestructurală.
- **tipul 4:** scolioză triplă majoră în care curbura toracală este cea mai mare dar și compensările superioară și inferioară sunt structurale.
- **tipul 5:** scolioza toracolombară sau lombară este majoră și structurală și poate fi însoțită de compensări superioare toracale dar acestea sunt nestructurale.
- **tipul 6:** scolioza toraco-lombară sau lombară este primară dar există și o curbura toracală structurală dar mai mică cu cel puțin 5° față de cea lombară.

Clasificarea scoliozelor se poate face și **în funcție de orientarea convexității:**

- *scolioză spre dreapta sau dextroconvexă:* vertebra vârf este de partea dreaptă. Scolioza cu convexitatea spre dreapta în zona toracală reprezintă tipul cel mai întâlnit la sexul feminin.
- *scolioză spre stânga sau sinistroconvexă:* vertebra vârf este situată de partea stângă a liniei mediane.

**În funcție de reductibilitatea** lor scoliozele se clasifică în:

- *scolioze reductibile:* la testul de aplecare înainte curbura se reduce



- *scolioze nereductibile*: la testul de aplecare înainte atât curbura cât și rotația vertebrală se păstrează.
- Clasificarea scoliozelor **în funcție de ”proba firului cu plumb”** (Figura 2.4.):
- *scolioze echilibrate*: firul cu plumb trece prin C7 și șanțul interfesier
  - *scolioze neechilibrate*: firul cu plumb pleacă de la C7 și trece lateral de șanțul interfesier.

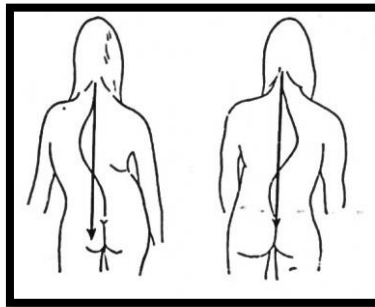


Figura 2.4. În stânga, scolioza neechilibrată. În dreapta, scolioza echilibrată [22]

**După evoluție** scoliozele pot fi:

- *scolioze neevolutive*: la vârsta de 15-16 ani, scolioza nu depășește 30°
- *scolioze evolutive*: unghiul de înclinare depășește 30° la vârste destul de mici, în unele cazuri ajungând la 80-90°, uneori chiar mai mult. O scolioză evolutivă se agravează treptat în timp chiar și la vârsta adultă cu 1-2° pe an.

## 2.2.4. Diagnosticarea scoliozelor

### Examenul clinic

Diagnosticul scoliozelor este pus de către medicul ortoped pediatru în urma unei evaluări clinice și radiologice. Protocolul de evaluare a scoliozelor specifică să se realizeze ulterior controale clinice și radiologice la fiecare 6 luni până la atingerea vârstei de maturare osoasă [2, 23].

Evaluarea clinică constă în realizarea unei anamneze complete și analiza poziției corpului în statică (ortostatism, așezat, culcat) dar și în dinamică (în mers).

În ortostatism, pacientul este observat desculț și dezbrăcat, din incidență anterioară și posterioară. Medicul urmărește prezența înclinării laterale a coloanei, echilibrul centurilor scapulare și pelvine, prezența gibozităților (anterior și posterior), poziția piciorului pe sol, simetria de lungime a membrelor inferioare, poziția capului [24]. Rotația vertebrală se pune în evidență prin aplecarea trunchiului înainte (bending test sau testul Adam) și se înregistrează cu ajutorul scoliometrului Bunnel [25]. Testarea se realizează așa cum este reprezentat în Figura 2.5 [26]. Evaluarea se continuă apoi și din poziția așezat pe scaun pentru a se observa modificările structurale la nivelul trunchiului atunci când bazinul este echilibrat.



Figura 2.5. Măsurarea rotației vertebrale cu scoliometrul Bunnell [27]

Tot din ortostatism, dar din plan sagital, se pot observa modificările ce pot să însoțească scolioza prin ștergerea sau exagerarea curburilor fiziologice ale coloanei vertebrale sau prezența gibozității costale (posterior de partea convexității și anterior de partea concavității vertebrale). În ultimii ani s-au dezvoltat metode noi de evaluare a asimetriei la nivelul spatelui utilizând chiar aplicații de pe telefoanele mobile [28] și care sunt tot mai utilizate de terapeuți în timpul evaluărilor.

### Examenul radiologic

Examenul radiologic este cel care confirmă diagnosticul de scolioză. Se realizează din ortostatism o radiografie de față și una de profil a coloanei vertebrale în întregime (zonele cervicală, toracală, lombară și sacrală). Radiografia aduce 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 [29].

În ciuda faptului că examenul radiologic este nociv pentru corpul în creștere al copiilor datorită utilizării radiațiilor X, radiografiile sunt extrem de necesare deoarece ele pun în evidență aspecte importante atât în diagnosticare cât și în urmărirea evoluției:

- se confirmă sau se infirmă diagnosticul de scolioză pus în urma examenului clinic;
- se precizează exact sediul curburilor, vertebra vârf a curburii și vertebrele limită;
- se calculează magnitudinea curburii (unghiul Cobb) dar și vârsta osoasă (testul Risser-Cotrel) acestea fiind necesare aprecierii evoluției scoliozei;
- se stabilește diagnosticul etiologic datorită evidențierii modificărilor structurale;
- se stabilește prognosticul și efectul tratamentului instituit.

Datorită caracterului evolutiv al scoliozei, este necesar să se realizeze numeroase radiografii pe toată perioada de creștere osoasă. Astfel a fost instituit un protocol de evaluare a pacienților cu scolioză evolutivă ce constă din evaluări clinice la fiecare 3 luni și evaluări radiologice la fiecare 6 luni.

### Unghiul Cobb

Pe radiografia de față se poate calcula magnitudinea unghiului curburii în funcție de vertebrele ce delimitează curbura. Unghiul se calculează ducând o dreaptă tangentă la platoul superior al vertebrei neutre superioare a curburii de măsurat și o altă dreaptă tangentă la platoul inferior al vertebrei neutre inferioare a aceleiași curburii. Perpendicularele trasate pe aceste drepte realizează un unghi complementar

care indică în grade valoarea devierii coloanei vertebrale în regiunea investigată. În cazul curburilor multiple se calculează valorile unghiurilor pentru fiecare curbura. În Figura 2.6. este reprezentată modalitatea de calcul al unghiului Cobb pe radiografii.

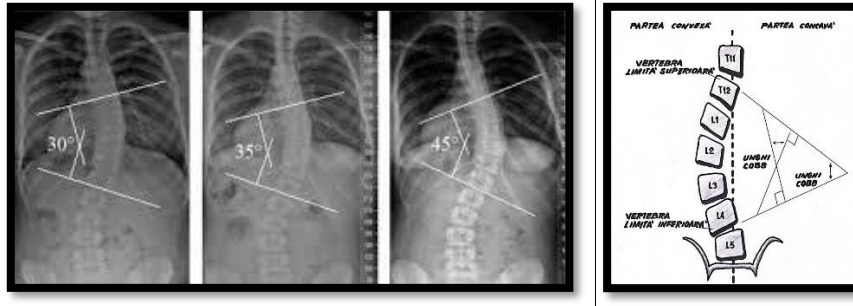


Figura 2.6. Modul de calcul al unghiului Cobb [30]

Pentru a observa flexibilitatea coloanei vertebrale în zona de curbura, se realizează o evaluare radiologică în poziția de înclinare laterală, spre convexitate. Studiile din ultimii ani au arătat o complianță bună în ceea ce privește flexibilitatea coloanei și gradul de rotație a corpului vertebral, prin utilizarea testului de înclinare laterală modificată [31].

### Rotația vertebrală

Toate scoliozele structurale prezintă o rotație la nivelul corpurilor vertebrale. Cu cât curbura este mai accentuată cu atât și rotația este mai reliefată. Măsurarea rotației vertebrale se calculează pe rafiografiile de față din ortostatism, la nivelul vertebrei vârf după metoda Lesur, Nash-Moe și Cobb [32].

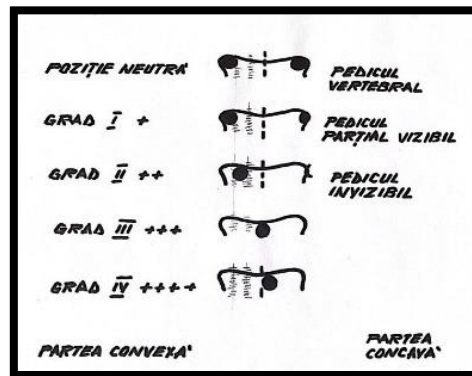


Figura 2.7. Tehnica de evaluare a rotației vertebrale Nash și Moe

Cel mai des utilizată este tehnica Nash-Moe, care clasifică rotația în 5 grade în funcție de poziționarea pediculiilor vertebrale, față de marginea laterală a vertebrei. Gradele de rotație vertebrală sunt schițate în Figura 2.7. Astfel, distanța exprimată în milimetri, între marginea externă a pediculului vertebral de partea convexității și conturul lateral al vertebrei vârf, reprezintă rotația vertebrală [16].

### Maturitatea osoasă

Stabilirea vârstei osoase este un element extrem de important în precizarea prognosticului scoliozei. Până la vârsta de 14 ani, aprecierea vârstei osoase se face în funcție de apariția nucleilor secundari de osificare la nivelul pumnului, însă datorită agravării scoliozelor la pubertate (după 14 ani în multe cazuri) aprecierea gradului de maturare osoasă se realizează în funcție de nivelul de osificare a creștelor iliace, așa cum se poate observa în Figura 2.8. Începutul osificării apare în zona externă a creștelor iliace, la nivelul spinei iliace antero-superioare în jurul vârstei de 12-14 ani la fete și 14-16 ani la băieți și progresează către zona posterioară, pentru a se suda treptat pe coxal. Astfel, Risser a propus o împărțire pe cinci grade, pentru determinarea stadiilor de maturare osoasă în discuție osificarea creștelor iliace:

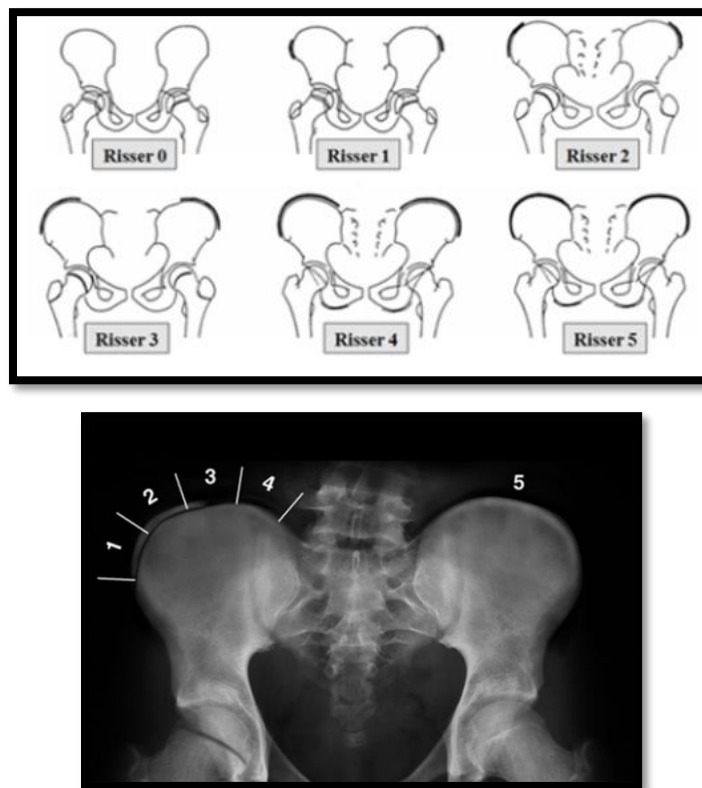


Figura 2.8. Testul Risser de evaluare a maturității osoase [33, 34]

- gradul I prezintă nucleul de osificare sub forma unei mici benzi de 2-3 cm închisă la culoare dispusă pe conturul extern al crestei iliace;
- gradul II în care banda mată este prezentă în jumătatea externă a crestei iliace;
- gradul III în care banda mată îngroașă toată zona crestei iliace;
- gradul IV în care nucleul de osificare este sudat la jumătate din suprafața crestei iliace;
- gradul V în care sudarea este completă.

Acest test prin care se apreciază gradul de osificare a scheletului poate indica evoluția unei scolioze. Osificarea completă a crestei iliace se apreciază că se realizează la vârsta de 17 ani la fete și 19 ani la băieți, iar Risser consideră că momentul opririi din evoluție a unei scolioze corespunde gradului IV de osificare a crestei iliace.

### 2.2.5. Tratamentul scoliozei

#### Considerații generale

Tratamentul scoliozei a fost standardizat în funcție de magnitudinea curburii măsurată pe radiografia de față [35-38]. Astfel:

- pentru valori ale unghiului Cobb cuprinse între  $10^{\circ}$  și  $25^{\circ}$  se indică efectuarea de exerciții fizice specifice scoliozelor (kinetoterapie);
- pentru valori ale unghiului Cobb cuprinse între  $25^{\circ}$  și  $50^{\circ}$  se indică tratament ortopedic (corset) și exerciții fizice specifice scoliozelor (kinetoterapie);
- pentru valori ale unghiului Cobb peste  $50^{\circ}$  se indică intervenție chirurgicală prin osteosinteză rahidiană.

Întotdeauna, tratamentul ține cont și de vârsta subiectului nu doar de valoarea unghiului Cobb. Dacă bolnavul este de sex feminin și vârsta de debut este mică, se poate indica tratamentul ortopedic și la unghiuri mai mici de  $25^{\circ}$  [39].

#### Tratamentul prin kinetoterapie

Kinetoterapia în cazul scoliozelor constă în realizarea de programe de exerciții fizice specifice, efectuate zilnic de bolnav fie sub supravegherea terapeuților fie independent la domiciliu (dar pe baza prescripțiilor făcute de specialiști). Exercițiile fizice trebuie întotdeauna să țină cont de localizarea curburilor, magnitudinea unghiului Cobb și a rotației corpilor vertebrali, de vârsta pacientului, capacitatea de efort și alte particularități (motricitatea pacientului, gradul de colaborare și implicare a acestuia dar și gradul de înțelegere). 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 [11].

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.

Încă de la începutul secolului XIX s-a încercat tratarea afecțiunilor ortopedice și implicit a scoliozei cu exerciții fizice care provin din gimnastica de bază. Amoros în Franța a fost primul care a introdus conceptul de gimnastică medicală iar mai apoi Ling în Suedia a sistematizat exercițiile de gimnastică punând accent pe respirație și acordând o importanță deosebită musculaturii dorsale și abdominale. Exercițiile gimnasticii suedeze sunt libere, analitice, efectuate simplu sau cu obiecte, iar coloana vertebrală este considerată axa principală de sprijin pentru toate pârghiile corpului, de aici plecând importanța care i se atribuie.

În secolul XX s-au dezvoltat noi metode de recuperare specifice scoliozei în diferite zone ale globului, fiecare având același scop, tratamentul complex 3D a scoliozei, chiar dacă abordările sunt diferite:

- Terapia Schroth;
- Conceptul SEAS (Scientific Exercises Approach to Scoliosis);

- Side shift exercise and hitch exercise;
  - DoboMed;
  - Conceptul ISR (Integrated Scoliosis Rehabilitation).
- Toate aceste metode vor fi prezentate pe larg în capitolul 3 al tezei.

### Tratamentul ortopedic

Tratamentul ortopedic instituit în cazul în care unghiul Cobb depășește 25°, vine să completeze programul de exerciții fizice. Numeroase studii susțin importanța purtării corsetului între 18 și 23 de ore pe zi. Ortezarea are ca scop: prevenirea agravării curburii prin corecție tridimensională dar și păstrarea unei libertăți în mișcarea de zi cu zi [40-43].

În Europa se utilizează următoarele corsete:

- **Corsetul Cheneau** este o orteză rigidă, deschisă în partea anterioară și care face o corecție tridimensională a trunchiului. Studiile prezintă o rată de corecție prin purtarea corsetului la final de tratament de 25% , precum și o rată de stabilizare a curburii de 23% [44];
- **Derivate din corsetul Cheneau** sunt *sistemul Rigo-Cheneau* cu o rată de corecție în corset de 76,7% a unghiului Cobb și o rată de corecție a rotației de 55,9% [45], precum și *ScoliOlogic Cheneau light* (creat de dr Hans-Rudolf Weiss pentru a crește calitatea vieții persoanelor ce poartă corset) [46];
- **Corsetul cu derotație dinamică (Dynamic derotating brace DDB)** este o orteză rigidă, conceput în Grecia de N. Vastatzidis, care a adăugat materialului de polietilenă lame metalice posterioare pentru derotare. Studiul realizat de Grivas în 2008 a relatat o îmbunătățire a unghiului Cobb pentru 35,7% din cazuri și o staționare în evoluție pentru 46,42% [47];
- **Corsetul Lyonnais** creat de Pierre Stagnara și apoi modificat de Allègre și Lecante, este realizat dintr-un material foarte rigid la care se adaugă șine metalice reglabile. Studiile prezintă o rată mai bună de corectare estetică a gibusului costal decât a unghiului Cobb, astfel prin purtarea acestui tip de corset aspectul estetic este mult îmbunătățit comparativ cu cel radiografic [48];
- **Corsetul scurt cu acțiune progresivă (Progressive action short brace PASB)** a fost conceput de Lorenzo Auliza pentru scoliozele toraco-lombare și lombare. Corsetul realizează o elongație, deflexie și derotație și este întotdeauna precedat de purtarea unei orteze turnate din gips care face primele corecții la nivelul coloanei vertebrale [49];
- **Corsetul Sforzesco** creat de S. Negrini și G. Marchini are la bază conceptul SpoRT (Symetric, Patient-Oriented, Rigid, Three-Dimensional, Active), este foarte rigid și realizează o elongație și deflexie a coloanei, realizând corecții în toate planurile (sagital, frontal și transversal). Acest tip de orteză toraco-lombară are rezultate bune chiar și în cazul scoliozelor cu unghi Cobb peste 45° fiind indicat și persoanelor care refuză intervenția chirurgicală [50, 51];
- **Corsetul de intervenție toracolombară prin lordozare (TLI brace)** a fost creat pentru corecția în planul sagital a deviațiilor de coloană, dar studiile au evidențiat că modificările aduse cifozei și lordozei determină și o micșorare a unghiului Cobb în plan frontal [52];
- **Corsetul TriaC** creat de Veldhuizen în Olanda, a fost conceput cu o rigiditate scăzută permițând o mobilitate normală în zona lombară. Studiul realizat în 2008 de Bulthuis, Veldhuizen și Nijenbanning a pus în evidență o eficiență de 22% pentru curbura primară și 35% pentru curbura secundară; totuși în cazul

deviațiilor în plan sagital acest corset acționează optim asupra cifozelor și mai puțin asupra deviațiilor lordotice [53].

În America au fost concepute și utilizate de către medicii ortopezi următoarele corsete:

- **Corsetul Boston**, cel mai utilizat corset în America de Nord, a fost creat în 1972 de J. Hall și W. Miller. Este un corset rigid, simetric, cu deschidere posterioară, iar pelotele acționează pasiv asupra gibozităților [54]. Studiul lui Emans J.B. a evidențiat o îmbunătățire a unghiului Cobb în 49% din cazuri și o stagnare în evoluție pentru 43% [55]. Totuși analiza realizată la un an după suprimarea corsetului a prezentat o evoluție a scoliozei [56];
- **Corsetul Charleston** a fost conceput de F. Reed și R. Hooper ca modalitate de corectare nocturnă a coloanei, bazat pe principiul Heuter-Volkman de încărcare asimetrică a coloanei care determină creștere osoasă. Acest tip de corset este eficient în cazul scoliozelor cu o singură curbură (toracală, toraco-lombară sau lombară). În studiul lui Lee et al. din 2012 s-a obținut o scădere a unghiului Cobb pentru 84% din cazurile studiate [57];
- **Corsetul Milwaukee** a fost conceput ca o orteză cervico-toraco-lombară de W. Blount și A. Schmidt cu utilizare post-operatorie. Ulterior Moe, Winter și Lonstein au studiat și au utilizat acest corset și în cazul scoliozelor fără indicație de operație. Datorită impactului emoțional negativ pe care purtarea acestui corset o are asupra subiecților, acest tip de corset este tot mai puțin indicat și de cele mai multe ori pentru utilizare nocturnă [40, 58, 59];
- **Corsetul Rosenberg** a fost primul corset toraco-lombar conceput în America de Nord care a abordat scolioza tridimensională. Este un corset asimetric, cu deschidere anterioară, realizat din 2 valve care realizează corecția prin translație și derotare. Din păcate studiile realizate în timpul utilizării acestui tip de corset au relevat o eficiență scăzută în cazul subiecților cu scolioză [60];
- **Corsetul Providence** este rigid, cu deschidere anterioară care utilizează puncte de presiune ce acționează pentru derotare și deflexie și a fost conceput în 1992 de C. d'Amato și B. McCoy ca un corset de corecție nocturnă. Cu toate că a devenit o orteză mult mai acceptată și utilizată de subiecți decât corsetul Charleston, studiile au evidențiat o rată de progresie mare a scoliozei, aproximativ 60% din subiecți necesitând ulterior intervenție chirurgicală [61];
- **SpineCore** este un corset flexibil creat de C. Coillard și C. Rivard în Canada care are la bază activarea musculaturii în sensul corecției fără acțiunea unor forțe pasive externe (ca în cazul corsetelor rigide). Chiar dacă este foarte bine acceptat de subiecți ortopezii nu agreează acest tip de corset, deoarece studiile au arătat o slabă eficiență în cazul scoliozelor mari, putând fi utilizat doar de subiecți cu scolioze ușoare [62-64];
- **Corsetul Wilmington** a fost creat de D. MacEwen fiind o orteză rigidă, concepută simetric cu deschidere anterioară pentru scolioze care au un unghi Cobb mai mic de 40°. Conform studiului lui Gabos et al. din 2004, din grupul de subiecți care au purtat acest tip de corset doar 17% au prezentat o agravare a curburii, restul fiind stabilizați în evoluție [65].

### Tratamentul chirurgical

Tratamentul chirurgical este indicat în cazul scoliozei cu un unghi Cobb mai mare de 50°, care nu a răspuns la terapia conservatoare (kinetoterapie și ortezare) sau nu poate fi oprită evoluția ei sau se așteaptă să existe un progres chiar și la vârstă adultă. Scopul intervenției chirurgicale este: oprirea progresiei scoliozei și realizarea unei corecții maxim posibile tridimensională. În Figura 2.9. se poate observa pe radiografia

realizată pre-operator și apoi pe cea post-operator, modificarea adusă formei coloanei vertebrale prin fixarea cu tije Harrington.

Tratamentul chirurgical este necesar în cazul scoliozelor evolutive deoarece în timp este afectată funcția organelor vitale (inima este suprasolicitată, suprafața pulmonară respiratorie scade), apar durerile secundare deformațiilor și aspectul estetic este compromis. Cu toate că uneori acest tip de tratament este necesar, el nu este lipsit de complicații: hemoragii, infecții urinare, disfuncții pulmonare, chiar deces, etc [66].

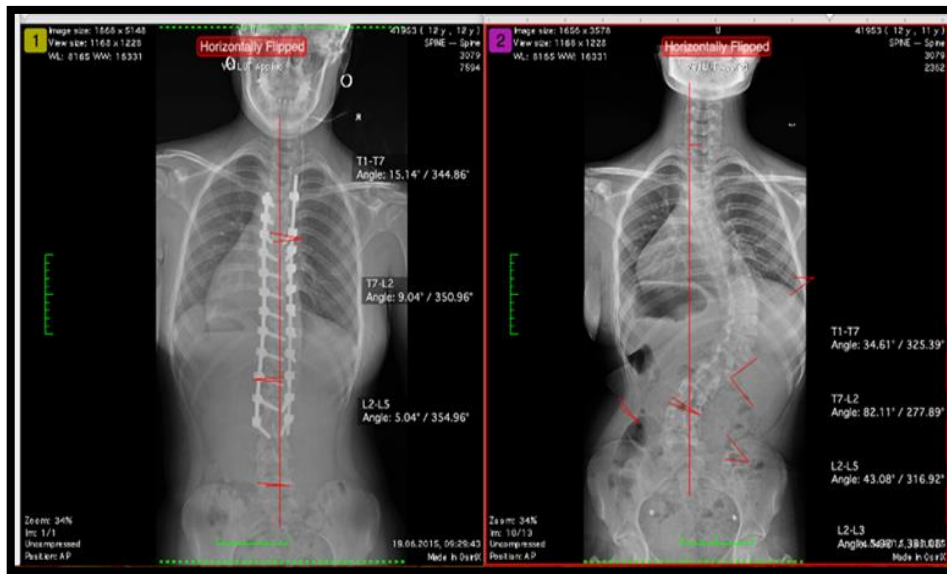


Figura 2.9. Exemplu de intervenție chirurgicală în cazul unei scolioze mari cu dublă curbură

### 2.3. Metode de investigare a deviațiilor de coloană vertebrală

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 [67]. 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-phon

### 2.3.1. Preluarea imaginilor prin radiologie clasică

Informațiile aduse de examenul radiologic au o contribuție esențială în stabilirea diagnosticului dar și a evoluției ulterioare a unei scolioze. Astfel, radiografia completează examinarea clinică și orientează spre conduita terapeutică ce trebuie urmată.



Figura 2.10. Aparat de radiologie [68]

Această examinare are la bază utilizarea radiațiilor Röntgen (radiații X) care impresionează un film fotografic. Zonele cu absorbantă mai ridicată vor permite trecerea unei cantități mai mici de radiație X, spre deosebire de zonele transparente. Aceste diferențe de absorbantă/transmitanță ale țesuturilor vor determina formarea de imagini cu nuanțe diferite de gri pe filmul fotografic care mai apoi pot fi interpretate de medicul radiolog.

Aparatul utilizat în radiologie este alcătuit din:

- componente principale: tubul care emite raze X, transformatoare, Kenotroane și ecran;
- componente secundare: masă de comandă, stativ, cabluri, etc [69]. În Figura 2.10. este prezentat un aparat de preluare a imaginilor prin radiologie clasică cu componentele sale.

În cazul scoliozelor, examinarea radiologică se realizează din poziție ortostatică utilizându-se 2 incidențe, de față și de profil. Este necesară o expunere a întregii coloane, din regiunea cervicală și până la sacru, fiind cuprinse și oasele iliace. Pentru realizarea acestui lucru, specialiștii recomandă centrarea fiecărei curburi și apoi asamblarea radiografiilor pentru a putea evalua cazul cât mai complet.

Deoarece protocolul de urmărire al scoliozelor prevede realizarea examinărilor radiologice la fiecare 6 luni din momentul diagnosticării și până la atingerea vârstei de maturare osoasă, dozarea expunerii trebuie realizată foarte atent. Există studii care evidențiază nocivitatea acțiunii repetate a radiațiilor X asupra corpului uman, în

special la copii. Riscul de apariție a cancerului este cu 4,3% mai mare la persoanele expuse la radiografii succesive în timpul evaluării scoliozelor [70-72]. Într-un studiu realizat pe 5573 de femei diagnosticate cu scolioză și care au fost supuse investigațiilor repetate cu radiații X la vârsta copilăriei și adolescenței, s-a raportat o rată crescută cu 8% a mortalității datorită cancerului mamar [73]. De asemenea, alte studii au prezentat o creștere a riscului de apariție a leucemiei, a cancerului ovarian sau apariția unor probleme de reproducere [74, 75]. Astfel, cercetătorii indică utilizarea incidenței postero-anterioare la fete pentru a proteja glandele mamare și ovarele [76].

În ultimii ani au fost dezvoltate sisteme noi care utilizează doze mici de radiații. Astfel, doza de intrare pe piele, doza eficientă și doza de organ au fost reduse semnificativ într-o micro-doză de raze X. Deoarece pacienții cu scolioză idiopatică necesită urmărire periodică cu raze X pentru supravegherea progresiei curbării, cercetările realizate în cazul noilor aparate au ajuns la concluzia că utilizarea clinică a sistemului de raze X cu microdoză, conform protocolului, este sigură pentru pacienți scoliotici [77].

Avantajele utilizării radiografiei clasice:

- oferă informații exacte asupra formei și poziției vertebrelor;
- oferă posibilitatea calculării unghiului Cobb;
- permite măsurarea gradului de rotație vertebrală și a maturității osoase;
- timpul de expunere la radiația X este redus;
- prelucrarea informațiilor se face în timp relativ scurt;
- prețul este scăzut;
- radiografiile se pot realiza în orice centru radiologic.

Dezavantajele radiografiei clasice:

- investigația este bidimensională, iar afecțiunea investigată prezintă modificări tridimensionale;
- imaginile preluate redau doar elemente de bază asupra țesutului osos;
- este o metodă invazivă deoarece se utilizează pentru investigare radiațiile X care sunt nocive pentru corpul uman.

### **2.3.2. Tomografia computerizată (TC)**

Tomografia axială computerizată (TAC), cunoscută în literatura anglo-saxonă sub denumirea de Computed Tomography Scan (CT), utilizează raze X asemeni investigațiilor radiologice clasice, dar în timpul expunerii nu se preia o imagine directă ci imaginea este realizată de către softuri prin prelucrarea matematică a datelor. Mai exact, doar un mănunchi de raze X traversează perpendicular secțiunea corpului, ajunge la un dozimetru care măsoară doza emergentă, pe care apoi o transformă într-o valoare numerică proporțională cu coeficientul de atenuare medie specific țesutului care este investigat. În Figura 2.11 este prezentat un aparat CT cu componentele sale.



Figura 2.11. Aparat de tomografie computerizată [78]

Ulterior, imaginea reconstituită geometric de computer este prezentată pe un ecran (Figura 2.12), iar investigatorul poate studia în amănunt zona expusă radiațiilor X. Acest tip de investigație permite explorarea zonei în amănunt, putându-se observa astfel detalii care pe o radiografie clasică nu sunt evidente.



Figura 2.12. Imaginea unei coloane vertebrale reconstruită 3D cu ajutorul computerului tomograf [79]

În investigațiile deformațiilor coloanei vertebrale tomografia computerizată este utilizată în cazuri speciale, când nu se poate realiza o investigație IRM sau pentru diagnosticarea unei malformații congenitale sau înainte de intervenția chirurgicală pentru observarea în detaliu a formei vertebrelor, a găurilor intervertebrale, a pediculilor vertebrali și a discurilor intervertebrale. Studiile realizate post operator relevă eficiența reconstrucției tridimensionale a corpului vertebral realizat cu ajutorul computer tomografului față de informațiile redade de o radiografie clasică [80].

Avantajele utilizării computerului tomograf:

- este redată o imagine 3D a zonei examinate;
- se obțin informații în detaliu asupra zonei luate în discuție;
- examinarea este nedureroasă;
- datorită fasciculelor înguste de raze X, se poate face diferența între țesuturile moi și colecțiile lichidiene;

- este o examinare precisă;
- dă posibilitatea vizualizării atât a țesutului osos cât și a țesutului moale;
- este mai puțin sensibilă la mișcările pacienților decât IRM-ul;
- se poate utiliza și la pacienții cu dispozitive implantate;
- examinarea se face în timp real.

Dezavantajele utilizării computerului tomograf:

- examinarea coloanei se realizează din decubit dorsal și nu din ortostatism astfel că face imposibilă calcularea unghiului Cobb real;
- timpul de expunere la razele X este mult mai lung decât în cazul unei radiografii clasice ceea ce este nociv pentru corpul persoanei examinate;
- cantitatea de radiații la care este expus pacientul este mult mai mare (un CT de torace acționează asupra corpului cu o cantitate de radiații egală cu 400 de radiografii de torace) [81]. Prin urmare, deoarece copiii sunt mult mai sensibili la radiațiile X, aceștia sunt examinați cu ajutorul computerului tomograf doar în cazurile neapărat necesare;
- are o rezoluție de contrast tisulară inferioară rezonanței magnetice;
- costul este relativ ridicat.

### **2.3.3. Imagistica bazată pe rezonanța magnetică nucleară (IRM)**

Imagistica prin rezonanță magnetică nucleară, este o tehnică a imagisticii care reproduce imagini ale corpului utilizând un câmp magnetic puternic, unde radio și un computer. Scannerul IRM (Figura 2.13.) este un tub înconjurat de un magnet mare, cilindric, care excită atomii de hidrogen ai corpului și care apoi se aliniază pe o anumită direcție. În urma expunerii la impulsuri de unde radio, atomii vor avea o nouă orientare, iar timpul în care atomii de hidrogen revin la direcția inițială este diferit de la țesut la țesut. Receptorul scannerului IRM detectează toate aceste schimbări iar un computer le procesează și elaborează o imagine. În acest mod medicii radiologi pot deosebi structurile între ele și pot pune un diagnostic clar și precis.

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 (corpi vertebrali, coaste).

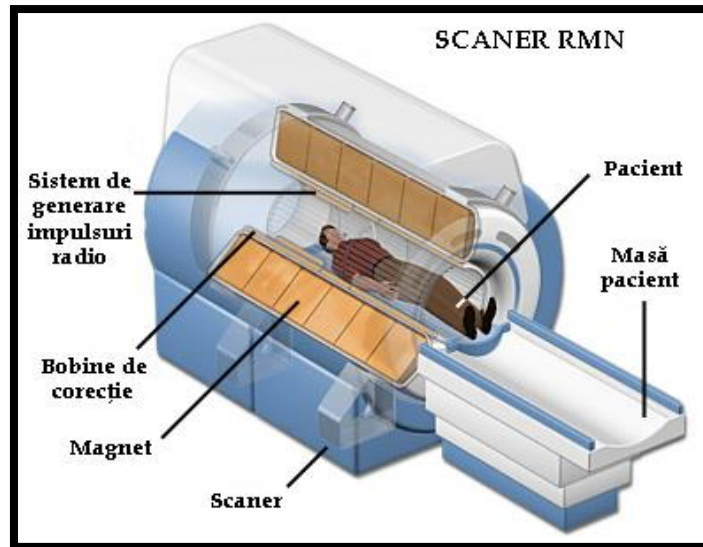


Figura 2.13. Componenta unui scanner RMN [82]

Modalitatea în care medicul radiolog vizualizează coloana vertebrală în urma investigației IRM este redată în Figura 2.14.

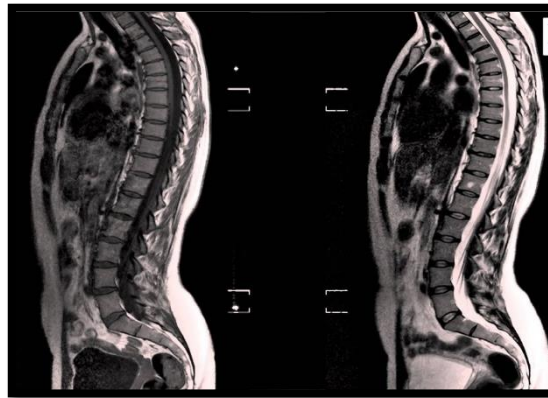


Figura 2.14. Imaginea coloanei vertebrale preluată cu ajutorul scannerului IRM [83]

Avantajele realizării investigațiilor IRM:

- este o metodă neinvazivă;
- este metodă nedureroasă;
- nu folosește raze X;
- imaginile obținute au un contrast mai fin;
- oferă posibilitatea distingerii între mai multe tipuri de țesuturi;
- permite obținerea unor imagini detaliate ale planurilor corpului;

- poate fi utilizată ca metodă precisă de detectare a proceselor patologice din organism (detectează anomalii structurale, de compoziție și de funcționare ale corpului);
- metoda poate fi repetată oricând e nevoie.

Dezavantajele investigației IRM:

- are un cost ridicat;
- se poate realiza doar la indicația medicului specialist;
- are un timp lung de achiziție și prelucrare a datelor (între 30 și 90 de minute)
- este inconfortabilă pentru copii (în cazul copiilor mai mici este nevoie de anestezie generală);
- se realizează din decubit dorsal ceea ce face imposibilă măsurarea exactă a unghiului Cobb necesar urmăririi în cazul unei scolioze.

#### 2.3.4. Topografia Moiré

Topografia Moiré este o investigație optică, neinvazivă, în care asupra subiectului examinat se proiectează un fascicul de lumină albă sau monocromatică, coerentă în fază. Neregularitățile de pe suprafața corpului determină defazaje ale radiației reflectate. Imaginea este proiectată pe un ecran pe care pot fi vizualizate franjele de interferență, constând în benzi alternante luminoase și întunecate (Figura 2.15.). Acest tip de examinare oferă o cuantificare mai precisă a deviațiilor specifice scoliozelor în comparație cu examinarea clinică clasică.



Figura 2.15. Imagine preluată prin topografia Moiré [84]

Această investigație a fost utilizată începând cu anii 70, permițând înregistrarea formei 3D a corpului pentru ca apoi în anii 90 metoda să fie modernizată, apărând topografia optică computerizată care permite o diagnosticare mult mai rapidă și eficientă a deviațiilor coloanei în cele 3 planuri (sagital, frontal, transversal) [85]. Deoarece metoda este neinvazivă și nedureroasă pentru pacientul examinat, ea este utilizată pe scară largă în cercetările de screening ale scoliozei.

Avantajele investigației prin topografie Moiré:

- este o metodă simplă, neinvazivă, non-contact;

- permite studiul dinamic al deformării coloanei vertebrale;
- este relativ ieftină;

Dezavantajele investigației prin topografie Moiré:

- poate da efecte fals-pozitive în cazul scoliozelor (poziția asimetrică a scapulelor poate fi independentă de o deviație a coloanei vertebrale);
- imaginile obținute nu permit determinări cantitative exacte;
- nu permite calculul unghiurilor Cobb.

### 2.3.5. Scanarea optică prin sisteme tip ISIS

Scanarea optică prin sisteme de tip ISIS este de asemenea o metodă optică de investigare a deviațiilor de coloană. Aceasta a apărut în anii 1980, ISIS 1, iar ulterior cercetători din Marea Britanie au dezvoltat ISIS 2, ca metodă de urmărire a deviațiilor de coloană în cadrul Royal Orthopaedic Hospital. Metoda constă în proiectarea de franje luminoase pe spatelul subiectului examinat pe care sunt plasate inițial repere (Figura 2.16.), care vor fi urmărite și înregistrate. În acest fel se pot urmări modificările spatelului în toate cele 3 planuri.

Informațiile redade de sistemul ISIS 2 sunt de o reală valoare pentru examinator, dar și pentru specialistul ortezist, deoarece noul sistem face o descriere exactă a suprafeței spatelului și modificările ce au loc la nivelul coastelor (gibozitatea costală nu poate fi cuantificată pe o radiografie clasică). În Figura 2.17. se observă complexitatea datelor oferite de această investigație prin scanare optică.

Avantajele scanării utilizând sistemul ISIS:

- este o metodă neinvazivă și nedureroasă;
- realizează o scanare tridimensională a suprafeței spatelului;
- gibusul costal este analizat cu mare exactitate;
- perioada de achiziție a datelor este foarte scurtă (100 ms);
- perioada de prelucrare a datelor este de ordinul minutelor;
- există posibilitatea comparării rezultatelor în timp, pentru același pacient.



Figura 2.16. Imagine cu spatelul unui subiect pe care sunt proiectate franje luminoase [86]

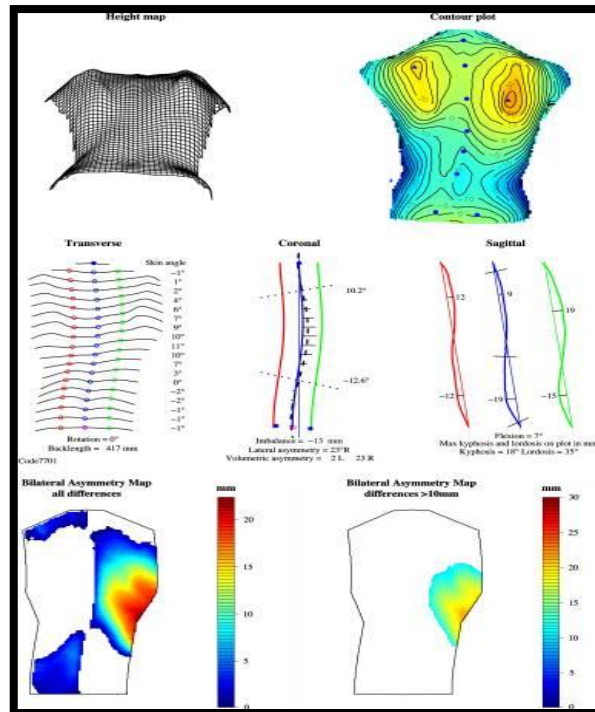


Figura 2.17. Imagini preluate și prelucrate cu sistemul ISIS2 [87]

Dezavantajele scanării prin sistemul ISIS:

- este o metodă scumpă;
- nu permite calculul unghiului Cobb;
- corelația dintre mărimea unghiului Cobb și asimetria laterală nu este relevantă;
- în cazul pacienților obezi sau a celor cu musculatură foarte bine dezvoltată poate da rezultate false.

### 2.3.6. Rasterstereografia computerizată

Este o metodă optică de investigare a deviațiilor coloanei vertebrale, apărută în anii 80, ca modalitate de urmărire a evoluției scoliozelor. Abia după anul 1996 acest dispozitiv este folosit de către medicii ortopezi europeni. Dispozitivul Formetric proiectează o lumină albă pe spatele subiectului examinat obținându-se în acest mod informații grafice asupra coloanei vertebrale, centurii pelvine și scapulare, informații care ajută la analiza posturii pacientului, așa cum se poate observa în Figura 2.18.

Avantajele utilizării rasterstereografiei cu dispozitivul Formetric:

- este o metodă neinvazivă și non-contact;
- oferă o cuantificare tridimensională a posturii subiectului examinat;
- se poate utiliza pentru a compara schimbările survenite în timp (de la o evaluare la alta);



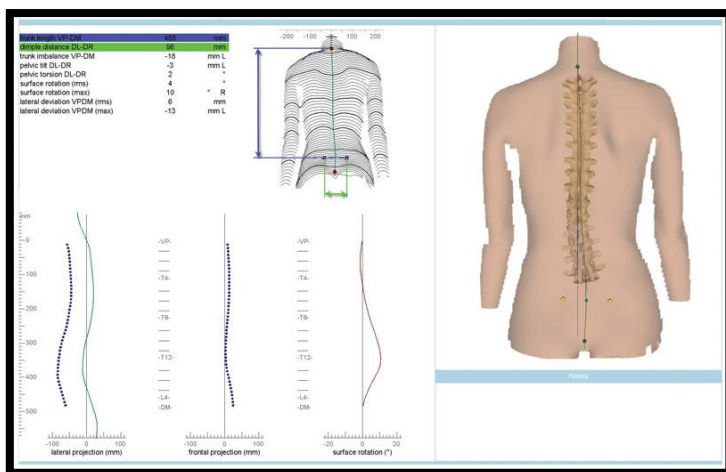


Figura 2.18. Imagini achiziționate de dispozitivul Formetric [88]

- este o metodă eficientă și relativ simplu de utilizat;
  - datorită lipsei radiațiilor este utilizată ca metodă de screening la copii.
- Dezavantaje utilizării rasterstereografiei computerizate cu dispozitivul Formetric
- corelația dintre unghiul Cobb și înclinarea laterală a coloanei nu este relevantă;
  - nu permite calculul unghiului Cobb.

### 2.3.7. Maparea ultrasonică digitală

Maparea ultrasonică digitală este o metodă de analiză tridimensională a coloanei vertebrale cu ajutorul ultrasunetelor. Coordonatele fiecărei vertebre sunt determinate



Figura 2.19. Punctarea apofizelor spinoase cu pointer-ul ultrasonic [89]

prin intermediul ultrasunetelor. Un cadru medical utilizează un pointer ultrasonic pentru a puncta poziția fiecărei vertebre (apofiză spinoasă) așa cum se poate observa în Figura 2.19.

Echipamentul redă imagini schematice în cele trei planuri spațiale și analiza acestora permite identificarea deviațiilor de coloană vertebrală.

Echipamentul este alcătuit din: sursă ce transmite semnalul ultrasonic, microfoane care receptează ultrasunetele (sunt așezate pe corpul subiectului examinat) și unitate centrală.

Un astfel de echipament este echipamentul Zebris care a fost conceput pentru analiza geometriei coloanei vertebrale atât în regim static cât și dinamic. Sistemul este alcătuit din cele trei componente: un pointer emitor de semnale ultrasonice, un cadru cu trei receptoare de ultrasunete și unitatea centrală. În Figura 2.20. este prezentat echipamentul Zebris cu componentele sale.

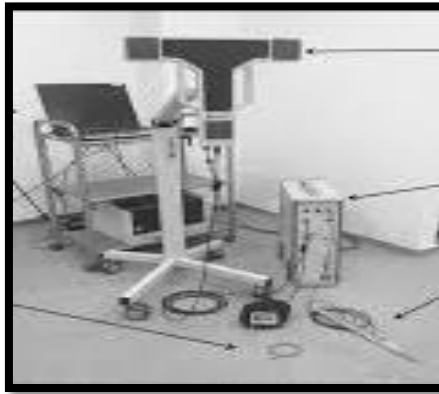


Figura 2.20. Componentele echipamentului Zebris [90]

Cu ajutorul palpatorului cu ultrasunete sunt marcate de către un cadru medical apofizele spinoase ale vertebrelor, iar fiecare punct fixat cu pointerul este redat în coordonatele spațiale 3D prin metoda triangulației. Pe palpator (pointer) sunt poziționați 2 emitori ultrasonici care au geometria cunoscută (așa cum se poate observa în Figura 2.21.).

Cunoscând geometria palpatorului, pot fi calculate coordonatele punctului P (coliniar cu  $T_1$  și  $T_2$ ) prin proiecția pe planele Oxy, Oxz, Oyz. Se pot scrie următoarele ecuații:

$$\begin{aligned}
 x_P - x_{T1} &= \frac{x_{T2} - x_{T1}}{z_{T2} - z_{T1}} \cdot (z_P - z_{T1}) \\
 y_P - y_{T1} &= \frac{y_{T2} - y_{T1}}{x_{T2} - x_{T1}} \cdot (x_P - x_{T1}) \\
 z_P - z_{T1} &= \frac{z_{T2} - z_{T1}}{y_{T2} - y_{T1}} \cdot (y_P - y_{T1})
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

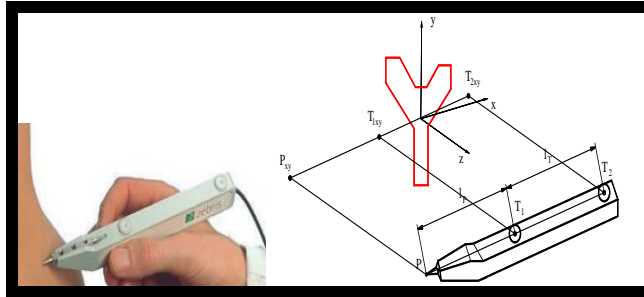


Figura 2.21. Prezentarea schematică a principiului de măsurare cu pointerul ultrasonic

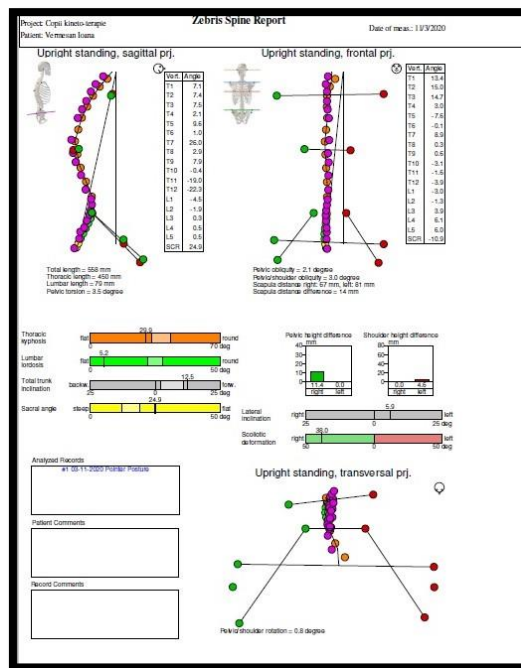


Figura 2.22. Raport de evaluare generat de echipamentul Zebris  
 Soluția sistemului de ecuații prezentate mai sus (2.2) reprezintă coordonatele vârfului pointerului (2.2):

$$\begin{aligned}
 -x_P \cdot (y_{T2} - y_{T1}) + y_P \cdot (x_{T2} - x_{T1}) &= -x_{T1} \cdot (y_{T2} - y_{T1}) + y_{T1} \cdot (x_{T2} - x_{T1}) \\
 -y_P \cdot (z_{T2} - z_{T1}) + z_P \cdot (y_{T2} - y_{T1}) &= -y_{T1} \cdot (z_{T2} - z_{T1}) + z_{T1} \cdot (y_{T2} - y_{T1}) \quad (2.3) \\
 x_P \cdot (z_{T2} - z_{T1}) - z_P \cdot (x_{T2} - x_{T1}) &= x_{T1} \cdot (z_{T2} - z_{T1}) - z_{T1} \cdot (x_{T2} - x_{T1})
 \end{aligned}$$

Echipamentul Zebris poate fi utilizat pentru determinarea formei coloanei vertebrale dar și a mobilității acesteia. În Figura 2.22. se poate observa un model de raport pe care echipamentul îl oferă în urma măsurărilor [91].

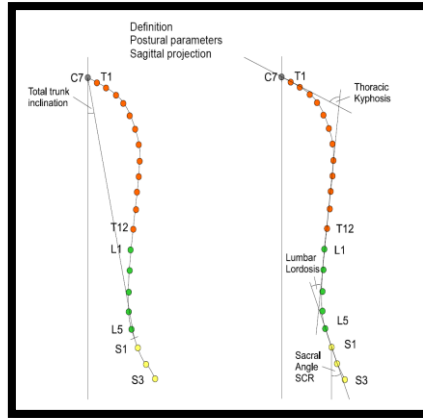


Figura 2.23. Unghiurile măsurate în plan sagital la nivelul curburilor toracale și lombare

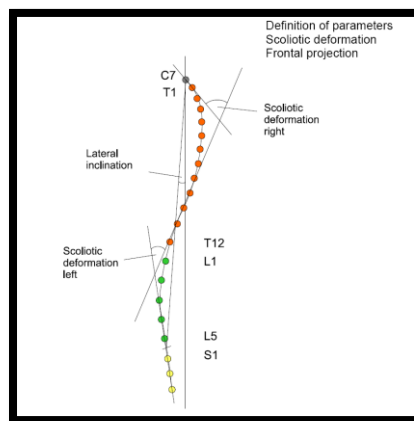


Figura 2.24. Unghiurile depistate în plan frontal

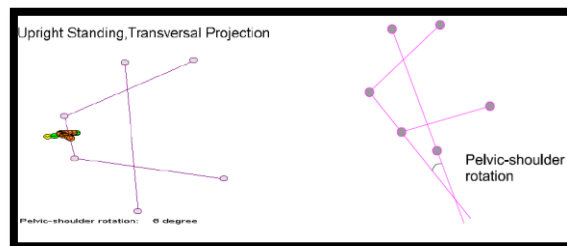


Figura 2.25. Unghiurilor măsurate în plan transversal prin rotația centurilor pelvină și scapulară.

Raportul este destul de elaborat prezentând coordonatele fiecărui punct anatomic în cele 3 plane, sagital, frontal și transversal. Astfel poate fi analizată poziția întregului

trunchi, a centurilor pelvine și scapulare ale persoanei evaluate. Unghiurile în plan sagital (cifoză toracală și lordoză lombară) Figura 2.23, frontal (evidențierea unei scolioze cu una sau mai multe curburi) Figura 2.24 și transversal Figura 2.25 sunt măsurate și redată în raportul medical pe care echipamentul îl generează la finalul evaluării.

Echipamentul Zebris permite și urmărirea mobilității coloanei vertebrale a persoanei investigate, respectiv oferă informații privind amplitudinea mișcărilor de flexie, extensie, înclinare a coloanei vertebrale (Figura 2.26.).

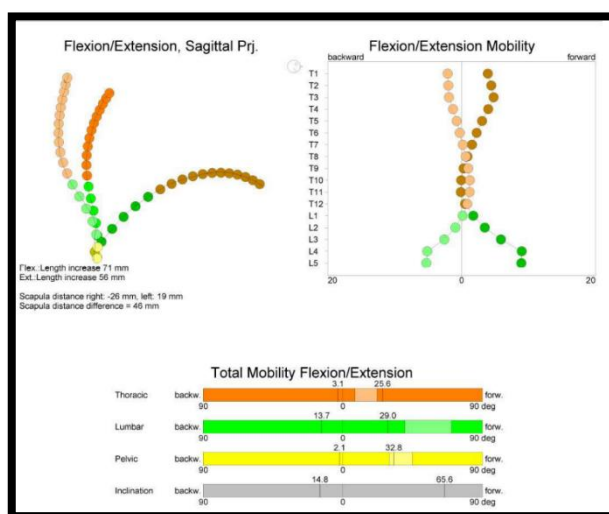


Figura 2.26. Date prelucrate pentru a reda mobilitatea pacientului

Echipamentul Zebris conține de asemenea și o bază de date care permite compararea rezultatelor obținute cu caracteristicile statistice persoanelor din aceeași categorie de vârstă, gen, etc.

Sistemul Zebris permite, de asemenea, analiza mobilității coloanei vertebrale în mișcările de flexie și extensie, înclinare laterală dreapta/stânga și rotația trunchiului spre dreapta/stânga.

Avantajele utilizării mapării ultrasonice digitale:

- este o metodă neinvazivă și nedureroasă;
- are o eficiență crescută în raport cu cantitatea și calitatea informațiilor achiziționate;
- permite redarea geometriei 3D a coloanei vertebrale;
- permite analiza mobilității și simetria mișcării efectuate;
- face posibilă calcularea unghiului Cobb.

Dezavantajele utilizării mapării ultrasonice digitale:

- timpul alocat preluării datelor este destul de lung;
- examinarea poate fi inconfortabilă pentru subiectul examinat deoarece trebuie să păstreze poziția pentru perioadă lungă de timp (până se punctează fiecare element);
- timpul de prelucrare a informațiilor este relativ lung;
- echipamentul este relativ scump pentru a putea fi achiziționat de multe centre de screening al scoliozelor.

### 2.3.8. Maparea tridimensională prin preluare digitală de imagine

Maparea tridimensională prin preluarea digitală de imagine reprezintă o metodă optică de investigație a corpului uman dezvoltată de firma InSpeck Inc din Quebec, Canada. Este o tehnică noninvasivă, noncontact, nenocivă pentru corpul uman. Preluarea imaginii se bazează pe schema generală din Figura 2.27, unde:

- $y$  este mărimea obiectului,
- $y'$  mărimea imaginii,
- $F, F'$  focarele obiect și imagine,
- $f, f'$  distanțele focale obiect și imagine,
- $a, z, a', z'$  abscisele obiect și imagine,
- $H_1, H_2$  – planele principale,

raza paralelă cu axa optică, raza care trece nedeviată prin punctele nodale, raza care trece prin  $F$  și este paralelă cu axa optică în spațiul imagine [92].

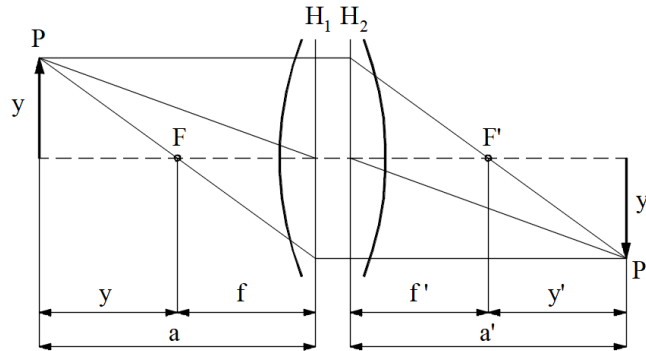


Figura 2.27. Schema optica de formare a imaginii [92]

Vectorul cu coordonatele punctului obiect  $\underline{X}$  se poate determina față de vectorul de poziție a centrului de proiecție  $\underline{X}_0$  [92]:

$$\underline{X} = \underline{X}_0 + \underline{X}^* \quad (2.4)$$

unde:

$$\underline{X}^* = m \cdot \underline{R} \cdot \underline{x}', \quad (2.5)$$

cu  $m$  factor de scară în care a fost transformat spațiul obiect pentru  $z' = -f'$ ,  $\underline{R}$  matricea de orientare și  $\underline{x}'$  vectorul imagine. Astfel, coordonatele unui punct imagine în planul obiect este dată de relația matriceală:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + m \cdot \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix}, \quad (2.6)$$

$$\underline{x}' = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ -c \end{bmatrix}, \quad (2.7)$$

unde:  $c$  este notația pentru distanța focală a camerei.

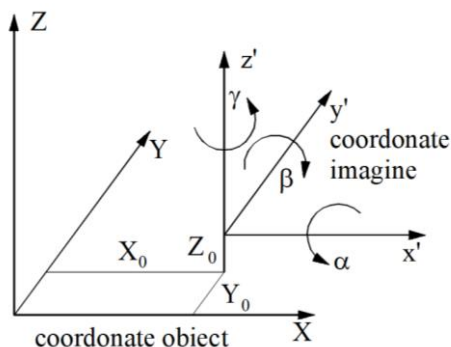


Figura 2. 28. Corelarea coordonatelor imaginii cu cele ale obiectului [92]

Poziția centrului de proiecție este:

$$\underline{X}_0 = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix}, \quad (2.8)$$

iar matricea de rotație:

$$\underline{R} = R_k \cdot R_\varphi \cdot R_\omega \quad (2.9)$$

are componentele:

$$\underline{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

sau:

$$\underline{R} = \begin{bmatrix} c\gamma \cdot c\beta - s\gamma \cdot s\alpha \cdot s\beta & -s\gamma \cdot s\alpha & c\gamma \cdot s\beta + s\gamma \cdot s\alpha \cdot s\beta \\ s\gamma \cdot c\beta + c\gamma \cdot s\alpha \cdot s\beta & c\gamma \cdot c\alpha & c\gamma \cdot c\beta - s\gamma \cdot s\alpha \cdot s\beta \\ -c\alpha \cdot s\beta & s\alpha & c\alpha \cdot c\beta \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

În continuare coordonatele unui punct imagine față de punctul principal imagine  $H'(x'_0, y'_0)$  și un vector de corecție  $\underline{\Delta x}'$  este dată de relația matriceală:

$$\begin{bmatrix} x' - x'_0 - \Delta x' \\ y' - y'_0 - \Delta y' \\ z' \end{bmatrix} = \frac{1}{m} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix}, \quad (2.12)$$

unde prin împărțirea primei și a celei de a doua ecuații cu ultima ecuație rezultă ecuația de transformare a coordonatelor obiect în coordonate imagine

$$x' = x'_0 + z' \frac{r_{11}(X-X_0) + r_{21}(Y-Y_0) + r_{31}(Z-Z_0)}{r_{13}(X-X_0) + r_{23}(Y-Y_0) + r_{33}(Z-Z_0)} + \Delta x', \quad (2.13)$$

$$y' = y'_0 + z' \frac{r_{12}(X-X_0) + r_{22}(Y-Y_0) + r_{32}(Z-Z_0)}{r_{13}(X-X_0) + r_{23}(Y-Y_0) + r_{33}(Z-Z_0)} + \Delta y'. \quad (2.14)$$

Transformarea coordonatelor are la baza schema bloc din Figura 2.29 [92]

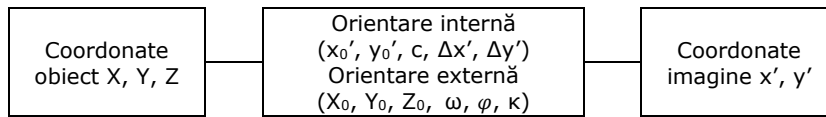


Figura 2.29. Schema bloc a transformării de coordonate

Tehnologia In Speck folosește 3 până la 6 camere digitale Captur de preluare a imaginilor. Pentru o preluare optimă, cele 3 camere Captur trebuie aliniate optic iar pacientul este poziționat la intersecția axelor celor 3 camere (Figura 2.30) [86].

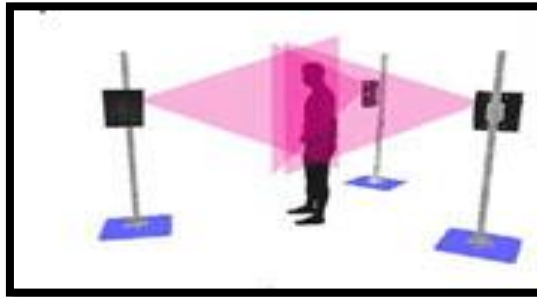


Figura 2. 30. Poziționarea camerelor și a persoanei investigate utilizând sistemul Halfbody [91]

Fiecare cameră digitală este alcătuită din: dispozitiv de iluminare, senzor de lumină și obiectiv de preluare a imaginii (Figura 2.31.)



Figura 2. 31. Model de camera digital a 3D Mega Capturor DF



Figura 2.32. a) Imaginile preluate de cele 3 camere, b) Procesarea și prelucrarea imaginilor FAPS/EM [93]



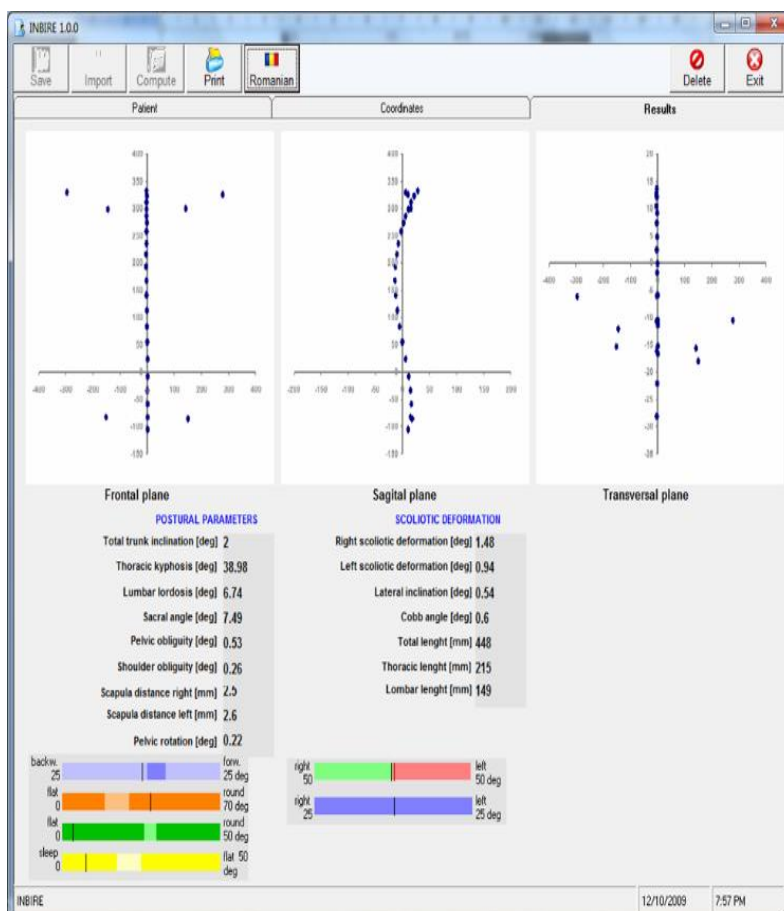


Figura 2.33. Interfața grafică a programului INBIRE [91]

Trei franje de lumină sunt proiectate pe suprafața corpului investigat, iar apoi este compusă imaginea 3D a trunchiului utilizând metoda triangulației. Achiziția de imagine se realizează foarte repede, în mai puțin de o secundă, pentru întreaga suprafață examinată.

Informația provenită de la camere este transmisă unui multi-head controler care este legat la un PC și pe care sunt instalate 2 aplicații soft ale sistemului, FAPS și EM. Astfel, sunt achiziționate 3 imagini (2 din față și 1 din spate) care sunt prelucrate pentru obținerea coordonatelor în spațiu în cele 3 plane: sagital xy, frontal zy și transversal xz. Imaginile sunt exportate și prelucrate, unite și puse în simetrie, pentru a obține o imagine 3D a corpului uman (Figura 2.32.).

La nivelul vertebrelor sunt atașați markeri, iar coordonatele lor sunt preluate de pe imaginile 3D ale torsului. Cu datele culese, se configurează coloana vertebrală în scopul determinării deviațiilor posturale. Softul de prelucrare a datelor INBIRE [91] permite modelarea coloanei vertebrale personalizate. Softul utilizează coordonatele a 29 de puncte: 23 puncte situate de-a lungul coloanei vertebrale, iar alte 6 la nivelul

umerilor, omoplaților și pelvisului. Datele aduc informații despre modificările posturale în cele 3 plane (sagital, frontal și transversal). Interfața grafică a programului INBIRE este redată în Figura 2.33. Datele din softul INBIRE sunt utilizate într-o aplicație 3D Max care permite modelarea personalizată a coloanei vertebrale (Figura 2.34). De asemenea, cu ajutorul softului, se poate crea o bază de date grafice, utile în urmărirea evoluției în timp a pacienților cu deviații de postură.

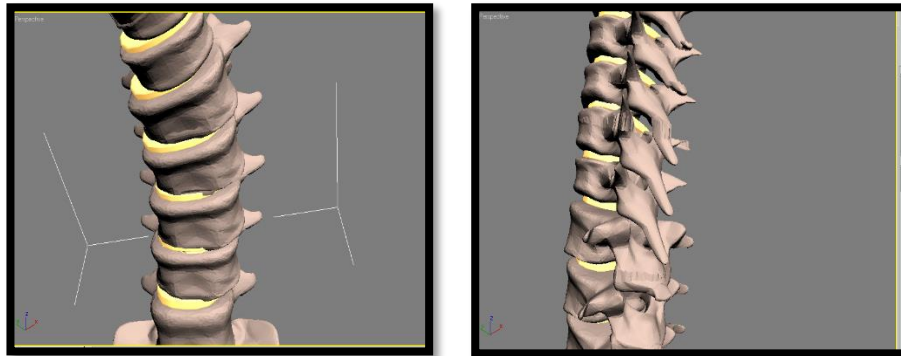


Figura 2.34. Model de coloana afectata de scolioză [91]

Avantajul utilizării metodei de mapare tridimensională prin preluare digitală de imagine:

- este o metodă neinvazivă, nedureroasă și noncontact;
- reproduce geometria 3D a corpului uman, chiar și culoarea și texturile foarte fine;
- achiziția datelor se realizează extrem de rapid (mai puțin de o secundă);
- nu necesită o pregătire prealabilă a pacientului;
- reprezentarea 3D a torsului subiectului evaluat îl poate ajuta pe acesta să conștientizeze mai ușor modificările suferite de corpul său în cele 3 planuri și în acest mod se poate îmbunătăți percepția în spațiu precum și efectuarea corectă a exercițiilor;
- face posibil calculul unghiului Cobb;
- imaginea 3D a torsului poate ajuta tehnicianul ortezist să construiască corsete de corecție mult mai eficiente.

Dezavantajul metodei de mapare tridimensională prin preluare digitală de imagine:

- timpul de prelucrare și interpretare a datelor este relativ lung;
- procedeele de unire a imaginilor sunt relativ complicat de realizat;
- costurile de achiziție a sistemului sunt ridicate.

### 2.3.9. Termografia

Termografia a început să fie folosită cu succes în ultimele decenii, inițial fiind utilizată în domeniul militar, apoi în cel industrial și doar după 1990 în evaluările medicale. Este o metodă de investigare din ce în ce mai utilizată în domeniul medical deoarece este neinvazivă, nenocivă, nedureroasă, noncontact și poate fi aplicată fără restricții la toate categoriile de pacienți indiferent de vârstă, gen sau stare de sănătate [94]. Tehnica termografică se bazează pe proprietatea corpurilor de a emite radiație în domeniu infraroșu. Echipamentele ce funcționează pe principiul termoviziunii se

bazează pe conversia radiației infraroșii în semnal de ieșire tip imagine digitală. Captarea imaginii în timp real poate identifica rapid evenimente tranzitorii termice și poate genera imagini clare ale obiectelor aflate în mișcare [94] cum se poate observa în Figura 2.35.



Figura 2.35. Imagine dată de termograf [95]

În medicină, termografia este utilizată pentru: analiza noninvazivă a fluxului sanguin din organism, detectarea gradului de adâncime a arsurilor, prezența inflamațiilor, existența unor tumori (la nivelul sânilor, al tiroidei, etc), existența unor contracturi musculare sau a unor staze venoase, etc.

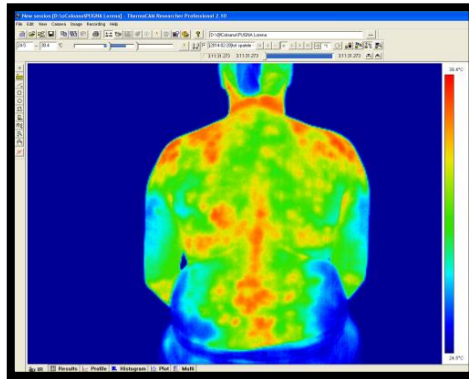


Figura 2.36. Imagine realizată cu camera Flir A40M la o pacienta de 16 ani cu scolioza sinistroconvexă [94]

Ca metodă de investigare a scoliozei, în special la copii, termografia ar putea fi folosită deoarece aduce informații asupra formei coloanei vertebrale datorită vizualizării zonelor cu circulației deficitare a sângelui determinată de deviațiile

coloanei și prezența contracturilor musculare, așa cum se poate observa în Figura 2.36.

Avantajele utilizării termografiei:

- este o metodă noninvazivă și noncontact;
- poate fi utilizată indiferent de vârstă și gen;
- poate fi utilizată repetat, ori de câte ori este nevoie;
- redă informații legate de gradul de relaxare sau încordare a musculaturii atât în repaus cât și în mișcare.

Dezavantajele termografiei:

- uneori pot rezulta imagini fals pozitive;
- trebuie respectate o serie de condiții de realizare a măsurărilor cu camera termografică pentru ca aceasta să funcționeze la parametrii optimi și informațiile achiziționate să fie acurate;
- imaginile achiziționate redau temperatura la nivelul țesuturilor, prin urmare nu permit calculul unghiului Cobb în cazul deviațiilor coloanei vertebrale.

### 2.3.10. Senzorul Kinect

Datorită costului destul de scăzut de achiziționare, în ultimii ani s-a încercat utilizarea senzorului de adâncime Kinect (Microsoft) pentru a depista deviațiile de postură ale corpului uman [96]. Algoritmii nativi folosiți de Kinect pentru a depista mișcările în spațiu ale corpului uman i-au ajutat pe cercetători să studieze poziția în spațiu a corpului [97, 98]. Senzorul Kinect folosește o tehnică de reconstrucție 3D a suprafeței descrisă de o multitudine de puncte pe axele x, y, z. Pe suprafața corpului sunt notate anumite repere anatomice precum unghiul inferior al scapulei, acromionul, spina iliacă postero-superioară, sacrul [99], apofizele spinoase ale vertebrelor. Datele culese de senzorul Kinect sunt supuse unor calcule matematice cu ajutorul softului Skanect și prin metoda triangulație sunt obținute imagini 3D ale trunchiului [100]. În studiul experimental realizat de Ciobanu et al., s-a reușit calcularea unghiului Cobb atât în cazul unei deviații în plan frontal (scolioză) cât și în cazul cifozei dorsale.

Avantajele utilizării senzorului Kinect:

- este o metodă noninvazivă, noncontact și nedureroasă;
- poate fi utilizată indiferent de vârstă și gen ori de câte ori este nevoie;
- este distractivă și interactivă în cazul subiecților testați;
- informațiile sunt redade în timp real;
- prin calcule matematice poate fi determinat unghiul Cobb.

Dezavantajele utilizării senzorului Kinect în depistarea deviațiilor scoliotice:

- calitatea reconstrucției 3D depinde de viteza cu care senzorul se deplasează în jurul subiectului și orice modificare în viteză poate determina rezultate incorecte;
- este dificil de păstrat o distanță constantă între senzor și corpul evaluat în timpul rotației senzorului;
- suprafețele strălucitoare pot apărea supraexpuse în imaginea infraroșie [100].

### 2.3.11. Senzorii accelerometrici

Începând cu anii 90 s-au realizat numeroase cercetări asupra deviațiilor de coloană utilizându-se senzori accelerometrici. Tanaka et al., apoi Bazzarelli et al., Wong et al. și alți cercetători, au realizat studii urmărind îmbunătățirea posturii în cazul unor afecțiuni ale coloanei vertebrale [101, 102] sau optimizarea poziției în cazul persoanelor care lucrează timp îndelungat la birou [103, 104]. Inițial s-a încercat

utilizarea unui singur accelerometru poziționat între vertebrele toracale T3-T4 pentru a măsura unghiul Cobb în cazul cifozelor [105]. Apoi au fost realizate veste în care au fost fixați un număr mai mare de senzori accelerometrici pe care persoanele investigate le-au purtat în timpul activităților zilnice desfășurate la locul de muncă sau la domiciliul acestora [106, 107]. Monitorizarea poziției corecte a corpului s-a realizat prin atașarea unei sonerii (buzzer) pentru a semnaliza subiectului poziția incorectă și pentru a restabili și conștientiza poziția corectă (Sistem de diagnosticare și terapie a afecțiunilor coloanei vertebrale – SPINE) [108]. În imaginea 2.37. este exemplificată una din modalitățile de monitorizare a posturii utilizată în cercetările realizate de Cajamarca et al. în 2018 [109].



Figura 2.37. Poziționarea senzorilor accelerometrici în zona lombară [109]

Avantajele utilizării senzorilor accelerometrici:

- este o metodă noninvazivă și nedureroasă;
- se poate repeta oricând este nevoie;
- poate fi utilizată indiferent de vârstă sau gen;
- preluarea datelor se realizează în timp foarte scurt;
- dispozitivul este relativ ieftin;
- preluarea de informații în timp real.

Dezavantaje utilizării senzorilor accelerometrici:

- senzori extrem de sensibili la mișcările realizate de persoana evaluată astfel că uneori pot da rezultate false;
- este nevoie de un cadru medical pentru aplicarea corectă la nivelul elementelor anatomice;
- timp relativ lung de prelucrare a datelor.

### 2.3.12. Utilizarea aplicațiilor din smartphone

În ultimii ani au fost create o multitudine de aplicații pe telefoanele mobile care analizează postura în principal în plan sagital și frontal. Aplicațiile se adresează atât modelelor Apple cât și Android. Inițial s-a plecat de la utilizarea telefonului mobil pentru evaluarea rotației vertebrale, evaluare ce se face în general cu scoliometrul, pentru ca apoi aplicațiile să devină din ce în ce mai complexe și să facă o analiză pe planuri și axe a întregii posturi (ScoliTrack și Scoliosis Tools pentru Apple, Scolimeter și Scoliosis measurement pentru Android). Naziri et al. în studiul de tip review realizat în 2018 pe 45 de aplicații ce urmăresc evaluarea scoliozei ajunge la concluzia că aceste aplicații sunt extrem de eficiente și utile iar în unele cazuri ele sunt chiar mai

precise față de un scoliometru tradițional [110]. Datorită dezvoltării tehnologiilor digitale, utilizarea aplicațiilor devine tot mai întâlnită în cabinetele de recuperare sau de ortopedie fiind extrem de valoroasă pentru clinicienii care analizează postura persoanelor cu scolioză. În Figura 2.38. este prezentată una din multiplele aplicații utilizate la ora actuală pentru a observa deviațiile posturale.

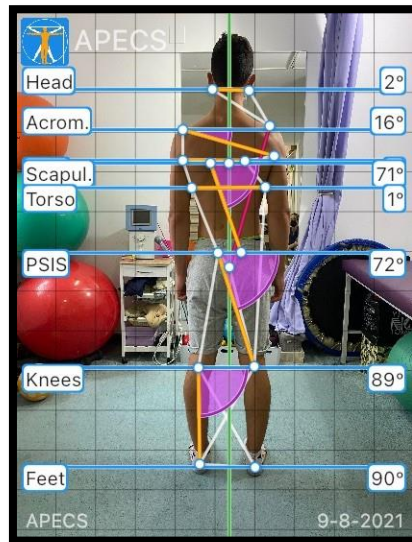


Figura 2.38. Analiză realizată cu ajutorul aplicației APECS

Avantajele utilizării aplicațiilor de pe telefoanele mobile inteligente:

- sunt relativ ușor de utilizat;
- pot fi folosite indiferent de gen și vârstă;
- sunt ieftine;
- aduc informații importante legate de deviațiile în planurile frontal, sagital și transversal;
- pot fi utilizate oricând, nu necesită pregătire prealabilă;
- cele mai multe permit efectuarea de comparații între evaluări.

Dezavantajele utilizării aplicațiilor de pe telefoanele mobile:

- aplicațiile elaborate au costuri tot mai ridicate cu cât sunt mai elaborate;
- pot da valori false dacă investigatorul nu fixează corect markerii în funcție de care se realizează măsurările.

## 2.4. Concluzii

Capitolul 2 al tezei prezintă stadiul actual al cunoștințelor privind anatomia și biomecanica coloanei vertebrale, deviațiile acestora în plan frontal și metodele de investigare utilizate în scopul diagnosticării.

Primul paragraf prezintă elemente de anatomie a coloanei vertebrale și biomecanica mișcărilor realizate, specifice fiecărui segment vertebral.

În cel de-al doilea paragraf sunt sintetizate cunoștințele privitoare la deviațiile scoliotice: definiție, etiopatogenie, multiple clasificări utilizate în prezent, criteriile de diagnosticare a scoliozei și tratamentul urmat după diagnosticare.

Al treilea paragraf descrie și analizează 12 metode de investigare a coloanei vertebrale utilizate în scopul diagnosticării și urmăririi evoluției în timp a unei scolioze. Pentru fiecare metodă este prezentat principiul, echipamentul necesar și modalitatea de prezentare a rezultatelor investigației. Sunt puse în evidență avantajele și dezavantajele utilizării fiecărei metode.

În urma prezentării acestor metode rezultă următoarele concluzii:

- cea mai utilizată metodă de investigare a coloanei vertebrale este radiografia. Aceasta este o metodă invazivă, statică și care necesită prelucrare ulterioară pentru calculul unghiului Cobb, cu precizie scăzută. Necesită prezența pacientului într-un spațiu de profil, respectiv într-un cabinet de radiologie;
- metodele optice oferă mai multe informații, dar necesită spațiu și echipamente specializate și fixe, precum și prelucrări de date relativ laborioase;
- majoritatea rezultatelor investigațiilor se prezintă sub forma analogică a unor imagini care urmeză să fie evaluate de către un specialist ortoped sau fizioterapeut. În general, datele numerice care, eventual, stau la baza imaginii, nu sunt disponibile pentru prelucrare;
- nicio metodă analizată nu oferă un model matematic al coloanei, care să permită determinarea analitică a unghiurilor Cobb.

### **3. STUDIU ACTUAL PRIVIND METODELE DE KINETOTERAPIE UTILIZATE ÎN REABILITAREA SCOLIOZEI**

#### **3.1. Metode de kinetoterapie utilizate pentru recuperarea deviațiilor de coloană vertebrală**

##### **3.1.1. Kinetoterapia clasică**

Încă de la începutul secolului XIX s-a încercat tratarea afecțiunilor ortopedice și implicit a scoliozei cu exerciții fizice care provin din gimnastica de bază. Exercițiile utilizate în recuperarea scoliozei sunt analitice, efectuate simplu sau cu 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.

Obiectivele programului de kinetoterapie în cazul scoliozei sunt:

- ✓ formarea unui reflex stabil de postură corectă, în activitățile statice și dinamice ale corpului;
- ✓ tonifierea grupelor musculare distribuite de partea convexității prin contracții izotonice concentrice;
- ✓ tonifierea grupelor musculare aflate de partea concavității prin contracții excentrice;
- ✓ creșterea diametrelor și elasticității cutiei toracice;
- ✓ creșterea volumelor și capacităților respiratorii;
- ✓ corectarea asimetriilor de la nivelul centurii scapulare, centurii pelvine și a cutiei toracice;
- ✓ creșterea flexibilității coloanei vertebrale;
- ✓ creșterea forței la nivelul musculaturii abdominale, paravertebrale și gluteale, în general a musculaturii care stabilizează poziția trunchiului.

În cazul scoliozelor cu o singură curbură, programele de kinetoterapie au la bază următoarele mișcări:

- înclinare a trunchiului spre partea convexității;
- răsucire a trunchiului spre partea concavității;
- extensii de trunchi;
- elongații;
- mișcări asociate ale membrilor superioare și inferioare prin care se urmărește deschiderea concavității și echilibrarea centurilor pelvine și scapulare.

Exemple de mișcări corective sunt prezentate în Figura 3.1.



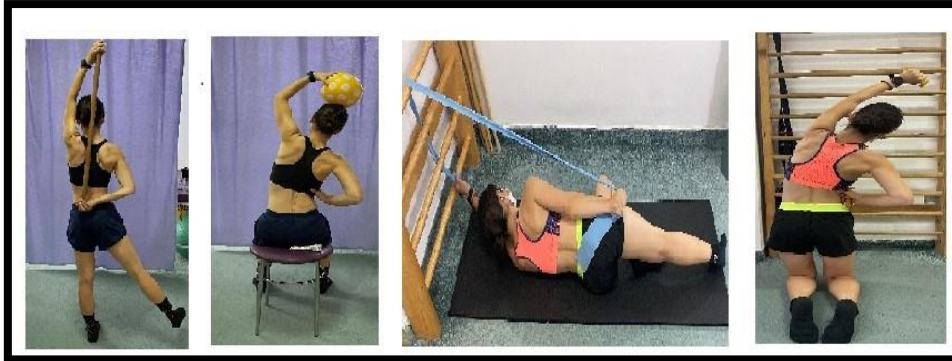


Figura 3.1. Mișcări corective utilizate în kinetoterapia clasică

În cazul scoliozelor cu două curburi se vor realiza aceleași mișcări corective, dar se va ține cont de următorul principiu de execuție: se blochează o curbură în poziție corectată sau hipercorectată și se realizează mișcări active de corectare pe la nivelul celeilalte curburi.

Programele de kinetoterapie care au la bază mișcările de mai sus reprezintă terapia cea mai cunoscută și mai utilizată de kinetoterapeuții din România deoarece școala de recuperare medicală funcționează pe principiile gimnasticii suedeze.

### 3.1.2. 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 terapia Schroth coloana este privită ca fiind formată din blocuri corporale [12]:

- *blocul 1* cuprinde bazinul și coloana lombară;
- *blocul 2* cuprinde coloana toracală, cutia toracală și treimea inferioară a scapulelor;
- *blocul 3* cuprinde porțiunea superioară a coloanei toracale, coloana cervicală și partea superioară a centurii scapulare.

În funcție de modificările suferite de aceste blocuri corporale în plan frontal și sagital, în terapia Schroth scoliozele pot fi: scolioze cu 3 curburi (scolioza obișnuită în C, în care există o curbură principală) și scoliozele cu 4 curburi (scoliozele duble în care există o curbură principală și una secundară dar ambele au rotație vertebrală)[111]. Exercițiile descrise în cadrul acestei metode vizează realinierea acestor blocuri corporale.

Obiectivele terapiei Schroth sunt:

- ✓ refacerea profilului sagital (cifoza toracală și lordoza lombară fiziologică);
- ✓ deflexia, realinierea coloanei în plan frontal;
- ✓ derotarea corpilor vertebrali și reducerea gibusului costal;
- ✓ conștientizarea poziției corecte a corpului în spațiu.

Astfel în terapie sunt utilizate diferite poziții (ortostatism, decubit ventral, lateral sau dorsal, pe genunchi, atârnat) în care sunt realizate corecțiile bazinului și centurii scapulare și din care pacientul execută: 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 [12]. Exemple de exerciții utilizate în timpul ședințelor de kinetoterapie sunt prezentate în Figura 3.2.



Figura 3.2. Exerciții ce aparțin metodei Schroth

### 3.1.3. Conceptul SEAS (Scientific Exercises Approach to Scoliosis)

Acest concept a fost dezvoltat în Italia și are la bază principii cognitiv-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 [37]. Scopul final este stabilizarea coloanei vertebrale în poziție corectă.

Obiectivele SEAS:

- ✓ încetinirea progresiei sau stoparea din evoluție a scoliozei;
- ✓ conștientizarea posturii vicioase;
- ✓ autocorectarea conștientă în plan sagital și frontal;
- ✓ creșterea stabilității coloanei vertebrale;
- ✓ dezvoltarea reflexelor de postură și echilibru;
- ✓ îmbunătățirea echilibrului păstrând autocorecția;
- ✓ îmbunătățirea capacității vitale.

Într-o primă etapă subiecții învață să realizeze autocorecția fără mijloace sau aparate ajutătoare, fiind extrem de importantă implicarea și simțul mișcării fără de care conștientizarea poziției corectate nu se poate realiza. Corecțiile se fac prin translație în plan frontal și mobilizare (cifoze-lordozare) în plan sagital (formarea cifozei și lordozei fiziologice). Aceste corecții vor induce o a treia corecție, cea în plan transversal, având ca rezultat derotarea.

Următoarea etapă este reprezentată de creșterea stabilității ce se realizează prin exerciții care se adresează musculaturii spatelui, abdomenului, centurii scapulo-humerale, centurii pelvine și membrilor inferioare. Subiecții realizează contracții izometrice ale diferitelor grupe musculare după ce în prealabil au realizat autocorecția. Exercițiile pot fi realizate static sau dinamic sau pe aparate care solicită controlul echilibrului.

Terapeuții care utilizează această metodă de reabilitare a scoliozei pun accent foarte mare pe caracteristicile fiecărui individ în parte. Exercițiile utilizate sunt extrem de simple la început și ele se diversifică pe măsură ce pacientul reușește să mențină autocorecția [37, 112]. În Figura 3.3 este prezentat un exemplu de exercițiu care respectă principiile SEAS.



Figura 3.3. Exemple exerciții metoda SEAS

### 3.1.4. Side shift exercise and hitch exercise (exerciții de translație și ridicare)

Acest tip de terapie a fost realizat 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).

Obiectivele acestei terapii:

- deflexia coloanei vertebrale;
- conștientizarea poziției corecte.

În cazul scoliozei cu o singură curbură localizată toracal sau toracolombar, se realizează o translație spre concavitate. În acest fel, vertebra limită inferioară a curburii își modifică poziția și întreaga curbură se reduce. Este important ca subiecții să învețe corect translația deoarece nu trebuie să apară mișcarea de înclinare laterală sau rotație.

În cazul scoliozei cu o singură curbură localizată lombar se execută o ridicare a călcâiului de pe partea convexității lombare și în acest fel se reduce inegalitatea bazinului.



Figura 3.4. Exemple exerciții metoda Side Shift

În cazul scoliozelor duble se realizează mai întâi ridicarea călcâiului și apoi translatarea toracală.

Aceste exerciții trebuie efectuate zilnic de cel puțin 30 de ori, contracția fiind menținută pentru minim 10 secunde [38, 113]. Un exemplu de realizare a exercițiilor din această metodă este redat în Figura 3.4.

### 3.1.5. DoboMed

Metoda DoboMed a fost dezvoltată în Polonia de Prof. Dobosiewicz adresându-se în principal scoliozelor idiopatice ușoare, progresive. Exercițiile sunt realizate în lanț kinematic închis, din poziții simetrice dar autocorecțiile urmăresc rectilinizarea în plan frontal și derotarea în plan transversal ghidată de respirații.

Obiectivele metodei:

- ✓ refacerea curburilor fiziologice, în special a cifozei toracale, prin mișcări active de flexie (cifozare);
- ✓ derotare în plan axial indusă de exercițiile de respirație;
- ✓ deflexie în plan frontal (corecție ce apare automat după ce se face activ cifozarea și derotarea);
- ✓ stabilizarea coloanei vertebrale în poziție corectată;
- ✓ oprirea din evoluție a scoliozei;
- ✓ Îmbunătățirea funcției respiratorii.

Exercițiile se realizează inițial din poziții joase, în care accelerația gravitațională nu acționează asupra coloanei vertebrale (patrupedie cu sprijin pe palme sau cu sprijin pe antebrațe) iar apoi se trece la poziții antigravitaționale care să solicite musculatura spatelui (pe genunchi, așezat sau ortostatism). Terapeutul stimulează inspirul în zona de concavitate printr-o presiune exercitată direct pe musculatura din concavitate iar expirul este însoțit de o stimulare ușoară de pe partea convexității. Poziția corectată este fixată printr-o contracție izometrică în timpul expirului. Terapia este indicată a fi realizată o oră în fiecare zi, eficiența acesteia variind în funcție de flexibilitatea coloanei dar și de implicarea pacientului [37, 114]. Este prezentat în Figura 3.5 un exemplu de exercițiu efectuat din patrupedie în care cifozarea coloanei forțează cu ajutorul respirației derotarea corpurilor vertebrale.



Figura 3.5. Exemplu exercițiu din patrupedie metoda DoboMed

### 3.1.6. Conceptul ISR (Integrated Scoliosis Rehabilitation)

În 2010, Dr. Weiss, în urma studiilor realizate, a dezvoltat un nou concept de recuperare intitulat reabilitarea integrată a scoliozei (Integrated Scoliosis Rehabilitation). Din punctul de vedere al doctorului Weiss, persoana cu scolioză trebuie urmărită de o echipă formată din ortoped, fizioterapeut și psiholog, care

lucrează sincronizat în diagnosticarea și tratamentul scoliozei. Această abordare vine ca o completare la tehnica Schroth și include:

- exerciții fizice (physiologic (R) exercises) respectiv exerciții de mobilizare simetrică care refac mobilitatea coloanei toracale și lombare, precum și exerciții de menținere a curburilor fiziologice (cifoza toracală și lordoza lombară) în activitățile zilnice desfășurate în ortostatism sau așezat;
- exerciții de corecție 3D (3D exercises-made-easy) și anume exerciții realizate în ortostatism sau așezat care pornesc din activitățile desfășurate zilnic (mers corectat, așezat corectat, etc);
- exerciții specifice coloanei vertebrale încorporate în ADL-uri (spine-specific exercises incorporated in ADLs), sunt reprezentate de exerciții de translație aplicate în activitățile zilnice desfășurate de subiectul cu scolioză;
- exerciții specifice programului Schroth (the Schroth program), se execută exerciții alese în funcție de tipul scoliozei (cele 4 tipuri descrise în metoda Schroth) și de elementele clinice observate la subiectul cu scolioză.

Obiectivele acestui concept sunt:

- ✓ refacerea curburilor fiziologice în plan sagital;
- ✓ deflexia și derotarea corpurilor vertebrale, implică corectarea gibusului;
- ✓ conștientizarea poziției corecte a corpului în spațiu de către pacient și crearea unei noi engrame corecte;
- ✓ integrarea noii posturi în activitățile zilnice ale pacientului;
- ✓ colaborarea bună între pacient și terapeuți în toate fazele tratamentului (kinetoterapeutic și ortopedic) prin acceptare și implicare activă [37, 113].

### 3.1.7. Metoda Mézières

După anul 1950 Françoise Mézières a făcut cunoscută metoda plecând de la observația că deviațiile posturale trebuie privite în ansamblul întregului corp. Principiul de bază al metodei constă în echilibrarea tonusului în cadrul catenelor musculare ale corpului deoarece deviațiile de postură apar în contextul scurtării musculaturii posterioare a corpului. Ulterior din această metodă s-au dezvoltat Reeducarea Posturală Globală (RPG) și Reconstrucția Posturală, care sunt tot mai des utilizate în cabinetele de recuperare.

Metoda Mézières constă în menținerea unor posturi specifice, în care catenele musculare sunt întinse și în cadrul acestor poziții se execută respirații corecte, diafragmatice (Figura 3.6). Terapeutul realizează o analiză permanentă a posturii corpului pentru a preveni compensațiile care pot să apară secundar realinierii zonei în care există deviația principală, fiind atent ca occiputul, omoplații și sacrul să fie în permanență aliniate.

Obiectivele acestei abordări sunt:

- ✓ întindere active a lanțurilor musculare scurtate;
- ✓ reechilibrarea catenelor musculare și rearmonizarea posturii corpului în întregime;
- ✓ conștientizarea posturii corecte a corpului;
- ✓ restabilirea mobilității globale;
- ✓ echilibrarea respirației.



Figura 3.6. Exerciții specifice metodei Mézières

### 3.2. Concluzii

În capitolul 3 al tezei sunt descrise metodele de kinetoterapie utilizate în prezent pentru corectarea scoliozelor cu specificul fiecăreia și obiectivele urmărite în cadrul programelor de recuperare.

Tratamentul prin kinetoterapie al scoliozelor variază foarte mult în funcție de localizarea deviației, numărul de curburi, magnitudinea unghiului Cobb, gradul de rotație al corpurilor vertebrale, apexul curburii, vârsta pacientului, nivelul de motricitate, evoluția afecțiunii și etiologia sa. De-a lungul timpului s-au dezvoltat numeroase metode de tratament care au la bază exerciții statice sau dinamice, posturări, exerciții cu obiecte sau aparate întregi care să acționeze asupra deviațiilor în cele 3 planuri în care apar modificările. Terapeuții se specializează la rândul lor în diferite metode de recuperare și în funcție de experiența lor și de abordarea aleasă, întotdeauna încercă să adapteze programele de exerciții la particularitățile subiecților cu care lucrează

Programele de exerciții specifice scoliozelor se realizează întotdeauna în cabinete de recuperare sub supravegherea specialistului în domeniu. De subliniat este faptul că kinetoterapeutul nu are la îndemână instrumente de evaluare imediată a eficienței exercițiilor pe care le indică subiecților aflați în tratament. În acest sens, se poate afirma că dezvoltarea unor echipamente care să redea în timp real modul de variație a deformației coloanei în timpul exercițiilor ar ajuta la eficientizarea programelor de kinetoterapie și în consecință la corectarea scoliozei.

Pe baza sintezei și analizei critice a unui vast material bibliografic interdisciplinar, cu elemente de anatomie, kinetoterapie, tehnici de investigație și mecatronică, se pot formula următoarele **obiective ale tezei**:

- proiectarea și realizarea unui stand experimental, care să permită achiziția de date numerice caracteristice pentru coloana vertebrală, 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, respectiv în cabinetul de recuperare;
- 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;

- evaluarea eficienței programelor de exerciții de reabilitare a scoliozelor, care aparțin unor metode diferite de tratament, prin utilizarea echipamentului propus, respectiv a modelelor generate;
- utilizarea termografiei în studiul eficienței activării musculaturii spatelui în cazul exercițiilor specifice programelor de recuperare a scoliozelor și analiza comparativă a exercițiilor ce aparțin metodelor luate în studiu.

## 4. COLOANA VERTEBRALĂ ȘI DEFORMAȚIILE POSTURALE ÎN PLAN FRONTAL – MODELARE MATEMATICĂ

### 4.1. Observații preliminare

Diagnosticarea și evaluarea tratamentului în cazul scoliozei necesită cunoașterea formei coloanei vertebrale și a unghiului Cobb. În 1948 Cobb a propus determinarea unghiului unei curburii vertebrale prin trasarea unei drepte tangente la platoul superior al vertebrei neutre superioare și o altă dreaptă tangente la platoul inferior al vertebrei neutre inferioare a aceleiași curburii. Pe fiecare tangentă se trasează câte o perpendiculară, iar unghiul complementar al acestor perpendiculare reprezintă valoarea devierii coloanei vertebrale [81]. Acest procedeu este utilizat pentru măsurarea oricărei deviații în plan frontal (se măsoară atât curbura principală cât și curburile secundare) dar și sagital. Modalitatea de realizare a calculului este prezentată în Figura 4.1.

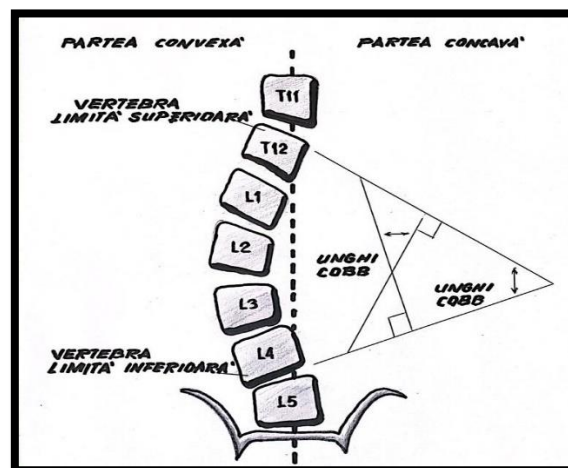


Figura 4.1. Metoda de calcul a unghiului Cobb

Coloana vertebrală are o formă spațială complexă, care face dificilă abordarea analitică. Pentru toate metodele de investigare prezentate în capitolul anterior, rezultatele se bazează pe imagini generate prin diverse metode de preluare directă în domeniul radiației X, IR sau în domeniul vizibil, prin convertirea informației furnizate prin metode ultrasonice sau prin rezonanță magnetică etc. În general, aceste imagini sunt evaluate de către un observator uman specializat, medic ortoped sau fizioterapeut. În funcție de metodă, este mai mult sau mai puțin dificilă prelucrarea ulterioară care să permită măsurarea unghiului Cobb. Pe radiografia clasică acesta rezultă prin construcțiile geometrice ajutătoare direct pe suprafața peliculei fotografice, cu instrumente de uz general. Unele metode, cum ar fi tomografia computerizată, imagistica RMN, scanarea ISIS, rasterografia sau topografia Moiré nu se pretează la prelucrări ulterioare care să genereze date numerice privind unghiul



Cobb. Doar unele metode (metoda ultrasonică, mapare optică 3D, senzori de diverse tipuri), permit culegere și prelucrare de date, care să furnizeze valori ale unghiului de interes.

Cunoscând coordonatele unui număr de puncte de pe coloană, devine posibilă modelarea matematică a acesteia cu ajutorul unor funcții de aproximare.

## 4.2. Modele matematice ale coloanei vertebrale

### 4.2.1. Funcții de interpolare utile în modelarea coloanei vertebrale

Utilizarea unui set de senzori atașați coloanei vertebrale permit prelevarea coordonatelor într-un număr, teoretic, oricât de mare. Determinarea unei expresii analitice pentru o funcție de aproximare care să descrie forma coloanei devine, însă, tot mai dificilă atât teoretic, cât și practic, pe măsură ce numărul de puncte de precizie crește.

Se formulează următoarele observații care vor sta la baza modelelor matematice:

- coloana vertebrală are forma unei curbe spațiale, dar pentru evaluarea scoliozei, respectiv a unghiului Cobb este de interes planul frontal, astfel încât toate considerațiile matematice se vor referi la acest plan. Va fi analizată proiecția coloanei în plan frontal, iar scopul modelării va fi obținerea unei curbe plane incluse în planul frontal;
- la o persoană sănătoasă, normală, forma coloanei în plan frontal variază de la o linie verticală, în postură dreaptă până la o curbă cu o singură curbură, în orice poziție cu îndoire laterală. În scolioză, forma este curbată atât în poziție de ortostatism cât și în alte poziții, prezentând una sau mai multe curburi (forma de C, respectiv S).
- Teoria funcțiilor de aproximare pornește de la următoarea enunțare a problemei: o funcție  $y=f(x)$ ,  $x \in N$  și  $y \in N$  este, de obicei, necunoscută în expresia sa analitică, dar este disponibilă ca un set de perechi  $(x, y)$ . Se urmărește găsirea unei funcții  $h(x) \sim y$  pentru toate perechile  $(x, y)$
- Funcția de aproximare poate fi aleasă dintre diferite clase de funcții de aproximare, care pot fi:
  - polinomială
  - exponențială
  - logaritmică
  - funcții trigonometrice
  - combinații liniare ale tipurilor de mai sus.
- Alegerea funcției de aproximare este impusă de forma sa în reprezentare grafică, existând cerința ca aceasta să fie cât mai apropiată de forma reală a unei coloane vertebrale. Pentru problema dată, modelul matematic al coloanei vertebrale este ales din clasa polinoamelor, din următoarele motive:
  - forma „C” sau „S” a coloanei poate fi ușor reprezentată cu un polinom de grad înalt;
  - aproximarea poate atinge orice grad de precizie impus, conform teoremei de aproximare Weierstrass;
  - operarea cu polinoame este relativ ușoară;
  - celelalte clase de funcții de aproximare nu au grafice care să poată urmări forma „S” sau sunt considerate nerezonabile din punct de vedere al volumului de calcul.

Ca urmare a observațiilor de mai sus, se urmărește dezvoltarea unui model polinomial pentru coloana vertebrală.

Un polinom de gradul  $n$  are expresia generală:

$$P_n(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots + a_nx^n \quad (4.1)$$

unde  $a_i$ ,  $i = \overline{0, n}$  sunt constante, iar  $x$  este variabila independentă.

Dacă sunt cunoscute  $(n+1)$  valori de perechi  $(x_i, y_i)$ ,  $i = \overline{0, n}$ , atunci coeficienții polinomului rezultă din sistemul:

$$\begin{cases} a_0 + a_1x_0 + a_2x_0^2 + \dots + a_nx_0^n = y_0 \\ a_0 + a_1x_1 + a_2x_1^2 + \dots + a_nx_1^n = y_1 \\ a_0 + a_1x_2 + a_2x_2^2 + \dots + a_nx_2^n = y_2 \\ \vdots \\ a_0 + a_1x_n + a_2x_n^2 + \dots + a_nx_n^n = y_n \end{cases} \quad (4.2)$$

Pentru alegerea polinomului de lucru s-a urmărit forma reprezentării grafice funcție de gradul polinomului. Pentru redarea formei coloanei și calculul unghiului/unghiurilor Cobb, este necesar ca graficul să prezinte cel puțin două/trei puncte de inflexiune, ceea ce indică un grad superior al polinomului.

În Figurile 4.2 – 4.4 sunt redată graficele funcțiilor polinomiale de grad 0...7.

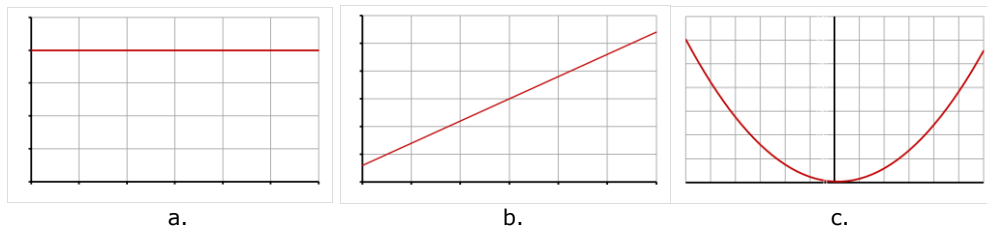


Figura 4.2. Graficele funcțiilor polinomiale de grad 0, 1 și 2 [115]

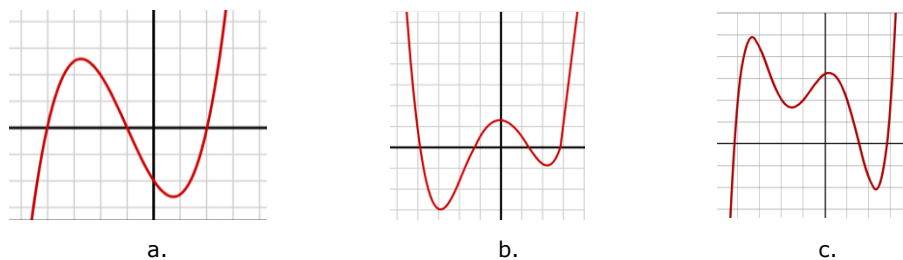


Figura 4.3. Graficele funcțiilor polinomiale de grad 3, 4 și 5 [115]

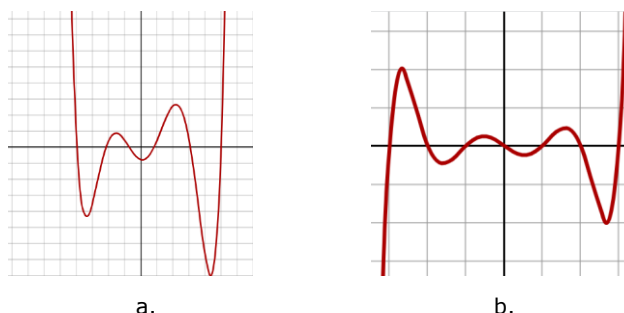


Figura 4.4. Graficele funcțiilor polinomiale de grad 6 și 7 [115]

Urmărind alura graficelor din figurile de mai sus rezultă că pentru modelarea geometrică a formei coloanei ar fi suficient un polinom de aproximare de grad trei.

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 determinarea punctelor de inflexiune se va considera funcția de interpolare  $g(x)=P_n(x)$ , pentru care se va calcula cea de-a doua derivată  $g''(x)$  și se vor determina valorile nule ale acesteia. Rădăcinile ecuației:

$$g''(x) = 0 \quad (4.3)$$

furnizează coordonatele punctelor de inflexiune. Considerând punctele de inflexiune  $I_1(x_1, y_1)$ ,  $I_2(x_2, y_2)$  și  $I_3(x_3, y_3)$ , se poate determina ecuația normalelor la curbă în cele trei puncte. Panta normalelor este:

$$m_1 = -\frac{1}{g'(x_1)}, \quad m_2 = -\frac{1}{g'(x_2)}, \quad m_3 = -\frac{1}{g'(x_3)}, \quad (4.4)$$

unde  $g(x)'$  este prima derivată a funcției polinomiale  $g(x)$ .

Unghiurile Cobb vor avea expresia:

$$Cobb1 = \arctan\left|\frac{m_1 - m_2}{1 - m_1 m_2}\right|, \quad Cobb2 = \arctan\left|\frac{m_2 - m_3}{1 - m_2 m_3}\right|. \quad (4.5)$$

În paragraful următor este descris demersul matematic, ilustrat prin câte un exemplu numeric.

Echipamentele cu care s-au prelevat date, precum și modul în care au fost utilizate modelele pentru a urmări eficiența exercițiilor de corectare a scoliozei sunt prezentate detaliat în capitolul 5.

#### 4.2.2. Modelarea coloanei vertebrale cu funcții polinomiale de grad superior

##### Cazul I: Scolioza simplă cu o curbură Polinom de aproximare de gradul 8

Pentru modelarea formei coloanei vertebrale în cazul scoliozei simple cu o curbură și calculul unghiului Cobb s-a acceptat aproximarea prin polinom de gradul 8, datorită utilizării celor opt puncte de precizie, determinate experimental și a unui punct de referință impus situat pe coloana vertebrală. Valorile coordonatelor celor 9 puncte sunt redată în Tabelul 4.1.

Tabel 4. 1. Coordonatele punctelor utilizate în modelare

Nr.crt.	Coordonate	
	x [mm]	y [mm]
0	0.0	0.000
1	27.948	1.709
2	56.177	3.922
3	84.022	6.071
4	110.837	2.148
5	122.335	-0.155
6	139.150	-1.696
7	154.507	-1.155
8	169.102	0.377

Pentru determinarea coeficienților polinomului și prelucrarea ulterioară a datelor s-a creat o aplicație soft dedicată, scrisă în MATHCAD14. Rularea aplicației pentru coordonatele din tabelul 4.1 a condus la următoarele rezultate:

$$a_0 = -3.26 \cdot 10^{-14}, a_1 = 2.44 \cdot 10^{-11}, a_2 = -7.59 \cdot 10^{-9}, a_3 = 1.27 \cdot 10^{-6} \\ a_4 = -1.22 \cdot 10^{-4}, a_5 = 6.65 \cdot 10^{-3}, a_6 = -1.85 \cdot 10^{-1}, a_7 = 2.06, a_8 = 0. \quad (4.6)$$

Punctele de inflexiune reale rezultate au coordonatele:

$$I_1(18.18; 5.026), I_2(54.56; 5.15), I_3(137.42; 12.22), I_4(161.78; 11.1) \quad (4.7)$$

Analizând geometria coloanei vertebrale (vezi figura 4.5) se poate constata că primul punct de inflexiune nu este convenabil, polinomul prezentând instabilitate între punctele de precizie 0 și 1. Dacă luăm în considerare punctele de inflexiune  $I_2$  și  $I_4$  aflate în zona de investigare, rezultă unghiul Cobb:

$$Cobb1 = 13.935^\circ. \quad (4.8)$$

Datorită faptului că operarea cu o funcție de aproximare de gradul 8 este dificilă, se vor verifica rezultatele utilizând funcții de aproximare de gradul 4, caz în care rezultă 2 puncte de inflexiune reale pentru cazul scoliozei simple cu o curbură.

##### Polinom de aproximare de gradul 4

Considerăm funcția de interpolare un polinom de gradul 4 de forma:

$$y = b_0x^4 + b_1x^3 + b_2x^2 + b_3x + b_4. \quad (4.9)$$

Pentru aceleași coordonate din tabelul 4.1, rezultă coeficienții funcției de interpolare:

$$\begin{aligned} b_0 &= 1.85 \cdot 10^{-7}, b_1 = -7.15 \cdot 10^{-5}, b_2 = 8.06 \cdot 10^{-3}, \\ b_3 &= -1.46 \cdot 10^{-1}, b_4 = 1.90 \cdot 10^{-1}. \end{aligned} \quad (4.10)$$

Punctele de inflexiune reale rezultate au coordonatele:

$$I_1(51; 5.47), I_2(142.37; 12.32). \quad (4.11)$$

Dacă luăm în considerare punctele de inflexiune  $I_1$  și  $I_2$  determinate rezultă unghiurile Cobb:

$$Cobb1 = 15.98^\circ. \quad (4.12)$$

Rezultatele obținute în urma calculelor matematice au fost comparate cu unghiul Cobb calculat de medici pe radiografie. Valoarea unghiului Cobb obținut în urma calculelor matematice și valorile calculate pe radiografia RX sunt prezentate în Tabelul 4.2. de mai jos.

Tabel 4. 2. Valorile unghiurilor Cobb măsurate pe RX și prin calcul matematic

Metodă de calcul utilizată	Valoarea unghiului Cobb
RX	15°
Polinom de gradul 8	13.94°
Polinom aproximat de gradul 4	15.98°

Se poate ușor constata că valorile determinate experimental și interpolate prin cele două funcții matematice sunt foarte apropiate de valoarea calculată pe radiografie, abaterea absolută fiind în jurul  $\pm 1^\circ$ .

Exemplul numeric prezentat a evidențiat posibilitatea utilizării polinoamelor de aproximare de grad mare în vederea obținerii formei matematice a coloanei vertebrale și calcularea unghiului Cobb. Dar, deoarece polinomul de gradul 8 utilizat are 4 puncte de inflexiune reale și calculul matematic este laborios, este de preferat să se utilizeze în cazul scoliozei simple cu o singură curbă un polinom de grad 4, care permite calcularea rapidă a coordonatelor după axa x a celor două puncte de inflexiune, prin rezolvarea unei ecuații de gradul 2.

Graficele obținute prin calcul matematic sunt prezentate mai jos (Figura 4.5.) în comparație cu forma coloanei vertebrale observată în urma expunerii la radiații X.

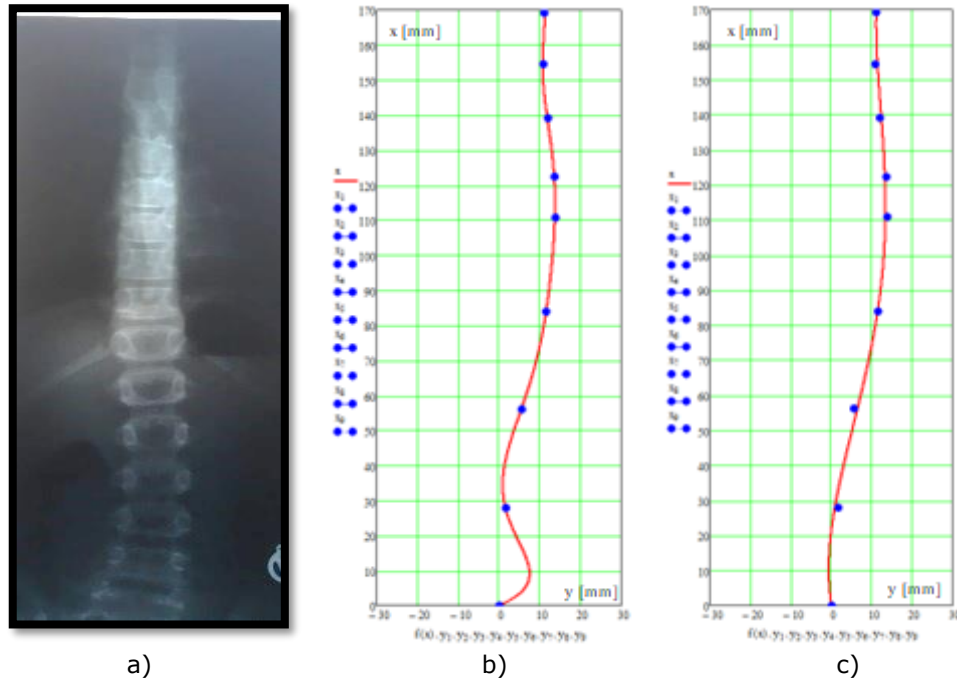


Figura 4.5. a) Comparație între forma coloanei pe RX, b) Model matematic al coloanei calculat cu polinom de aproximare de gradul 8, c) Model matematic al coloanei calculat cu polinom de aproximare de gradul 4

### Cazul II: Scolioză complexă cu două curburi Polinom de aproximare de gradul 8

În cazul unei scolioze complexe, cu două curburi, modelarea formei coloanei vertebrale și calculul unghiului Cobb, s-a realizat în primă fază prin aproximarea cu un polinom de gradul 8, datorită utilizării celor opt puncte de precizie, determinate experimental și a unui punct de referință impus situat pe coloana vertebrală. Valorile coordonatelor celor 9 puncte sunt redată în Tabelul 4.3.

Tabel 4. 3. Coordonatele punctelor utilizate în modelare

Nr.crt.	Coordonate	
	x [mm]	y [mm]
0	0.00	0.000
1	59.987	-1.257
2	119.785	-6.173
3	179.759	-7.953
4	239.548	-2.932
5	297.766	11.583
6	354.487	31.147
7	413.444	42.287
8	473.297	46.472

Determinarea coeficienților polinomului și prelucrarea ulterioară a datelor s-a realizat într-o aplicație scrisă în MATHCAD14. După rularea aplicației pentru coordonatele din Tabelul 4.3 s-au obținut următoarele rezultate:

$$\begin{aligned} a_0 &= 3.34 \cdot 10^{-18}, a_1 = -4.62 \cdot 10^{-15}, a_2 = 2.32 \cdot 10^{-12}, a_3 = -4.86 \cdot 10^{-10} \\ a_4 &= 1.49 \cdot 10^{-8}, a_5 = 1.41 \cdot 10^{-5}, a_6 = -2.58 \cdot 10^{-3}, a_7 = 8.43 \cdot 10^{-3}, a_8 = 0. \end{aligned} \quad (4.13)$$

Punctele de inflexiune reale rezultate au coordonatele:

$$I_1(-86.40; -31.35), I_2(78.42; -2.85), I_3(325.99; 21.35), I_4(434.44; 42.26) \quad (4.14)$$

Analizând geometria coloanei vertebrale (vezi figura 4.6) se poate constata că primul punct de inflexiune nu este convenabil fiind în afara domeniului de investigare. De asemenea se constată că funcția polinomială de gradul 8 prezintă o zonă de instabilitate între punctele de precizie 7 și 8. Dacă luăm în considerare punctele de inflexiune  $I_2$ ,  $I_3$  și  $I_4$  aflate în zona de investigare, rezultă unghiurile Cobb:

$$Cobb1 = 23.329^\circ, \quad Cobb2 = 20.587^\circ. \quad (4.15)$$

Datorită faptului că operarea cu o funcție de aproximare de gradul 8 este dificilă, se vor verifica rezultatele utilizând funcții de aproximare de gradul 5, caz în care rezultă 3 puncte de inflexiune reale pentru cazul scoliozei complexe cu două curburi.

### Polinom de aproximare de gradul 5

Considerăm funcția de interpolare un polinom de gradul 5 de forma:

$$y = b_0x^5 + b_1x^4 + b_2x^3 + b_3x^2 + b_4x + b_5. \quad (4.16)$$

Pentru aceleași coordonate din tabelul 4.3 rezultă coeficienții funcției de interpolare:

$$\begin{aligned} b_0 &= 1.18 \cdot 10^{-11}, b_1 = -2.65 \cdot 10^{-8}, b_2 = 1.63 \cdot 10^{-5}, \\ b_3 &= -3.12 \cdot 10^{-3}, b_4 = 1.27 \cdot 10^{-1}, b_5 = -1.72 \cdot 10^{-1}. \end{aligned} \quad (4.17)$$

Punctele de inflexiune reale rezultate au coordonatele:

$$I_1(85.83; -3.30), I_2(330.27; 21.93), I_3(931; -1036) \quad (4.18)$$

Dacă luăm în considerare punctele de inflexiune  $I_1$  și  $I_2$ , respective un punct la sfârșitul zonei de investigare  $I_3(500; 41.09)$  rezultă unghiurile Cobb:

$$Cobb1 = 21.84^\circ, \quad Cobb2 = 28.37^\circ. \quad (4.19)$$

Exemplul numeric considerat pentru verificare și validare, a fost realizat cu un subiect diagnosticat cu scolioză dublă, toracală dextroconvexă și lombară sinistroconvexă. Pe radiografie au fost calculate de către medicul radiolog cele două unghiuri: lombar  $22^\circ$  având vertebra vârf la L2 și toracal  $28^\circ$  cu vertebra vârf la T9. S-a aplicat modelul matematic bazat pe aproximarea cu polinom de gradul 5 [116].

Și de această dată s-au obținut valori apropiate cu cele calculate pe radiografie. În Tabelul 4.5. se pot observa valorile obținute prin calculul matematic în comparație cu valorile calculate de radiolog pe RX.

Tabel 4. 4. Valorile unghiurilor Cobb calculate de radiolog și prin calcul matematic

Metodă de calcul utilizată	Valoarea unghiului Cobb	
	zona lombară	zona toracală
RX	22°	28°
Polinom de gradul 8	20.59°	23.33°
Polinom aproximat de gradul 4	21.84°	28.37°

Modelul generat în Mathcad a fost comparat cu imaginea redată radiografic așa cum se observă în Figura 4.6.

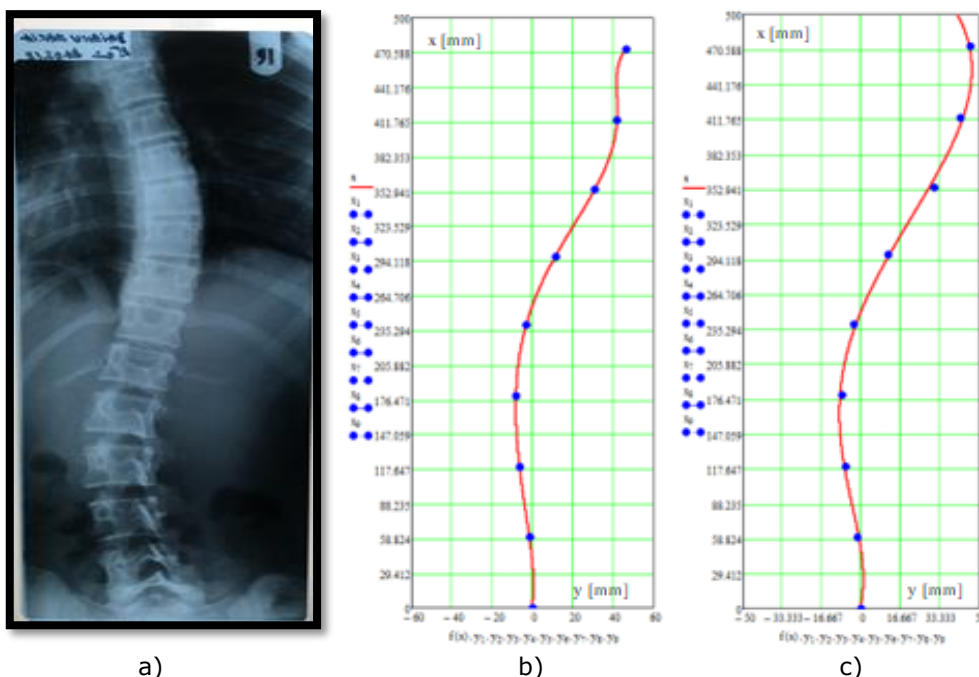


Figura 4.6. a) Radiografia coloanei examinate RX; b) Model matematic al coloanei calculat cu polinom de aproximare de gradul 8, c) Model matematic al coloanei calculat cu polinom de aproximare de gradul 5

Se poate observa în Figura 4.6 și în Tabelul 4.5, că sunt asemănătoare atât forma curbelor obținute matematic și forma coloanei descrise pe radiografie (care este înclinată spre stânga lombar și spre dreapta toracal) cât și unghiurile Cobb obținute în urma calculului matematic. În plus se observă că valorile unghiurilor Cobb pentru polinomul de aproximare de gradul 5 au abateri absolute mai mici de  $0.4^\circ$ .

Concluzia este asemănătoare cazului I, că se recomandă verificarea rezultatelor utilizând funcții de aproximare de gradul 5, caz în care rezultă 3 puncte de inflexiune



reale pentru cazul scoliozei complexe cu două curburi, în locul unei funcții de aproximare de gradul 8.

### 4.3. Concluzii

În capitolul 3 al tezei s-au propus câteva modele pentru descrierea matematică a geometriei coloanei vertebrale în plan frontal.

În primul paragraf al acestui capitol se fac o serie de observații preliminare asupra modului de calcul a unghiului Cobb.

Paragraful al doilea ilustrează utilitatea modelelor polinomiale. Modelarea matematică prin determinarea unei funcții de aproximare presupune cunoașterea unui număr de puncte de precizie. Dintre clasele de funcții de aproximare disponibile s-au ales funcțiile polinomiale, care au reprezentări grafice cu alura posibil asemănătoare cu aceea a coloanei vertebrale și presupun o complexitate matematică și volum de calcul rațional.

S-au prezentat în continuare încercări de verificare a utilității folosirii polinoamelor de aproximare în obținerea reprezentării grafice a coloanei vertebrale scolioze, dar și de calcul a unghiurilor Cobb.

Polinomul de aproximare de gradul 4 poate fi utilizat în cazul scoliozelor cu o singură curbă deoarece conduce la aflarea a 2 puncte de inflexiune între care se poate calcula unghiul Cobb dorit.

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.

Polinomul cu grad superior (polinomul de gradul 8) pot fi utilizat dar calculele matematice sunt anevoioase și pot da rezultate eronate din cauza modelelor generate, cu un număr mare de puncte de inflexiune.

Prin urmare, pentru calculul unghiurilor Cobb este necesar să se utilizeze cel puțin gradul 4 al polinomului pentru scoliozele cu o curbă, iar gradul 5 al polinomului poate fi utilizat în modelarea formei unei scioze cu mai mult de o curbă. Această modalitate de modelare a coloanei vertebrale poate fi extrem de utilă în urmărirea evoluției unei scioze de către fizioterapeut care trebuie să realizeze programe de recuperare eficiente dar și de către ortoped care trebuie să observe evoluția în timp a deviației coloanei vertebrale.

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.

## 5. ECHIPAMENTE UTILIZATE ÎN CADRUL CERCETĂRII EXPERIMENTALE

### 5.1. Sistem de achiziție a coordonatelor unor puncte de pe coloana vertebrală utilizând senzori accelerometrici

Evoluția scoliozei în timp este urmărită prin evaluări radiologice periodice. Deoarece calcularea unghiului necesită o expunere la radiații X, aceste măsurări nu pot fi realizate decât o dată la minim 6 luni. Astfel, în cadrul cercetărilor doctorale s-a urmărit realizarea unui dispozitiv care să permită calcularea unghiului de înclinație fără prejudiciu asupra corpului investigat, oricând este necesar.

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.

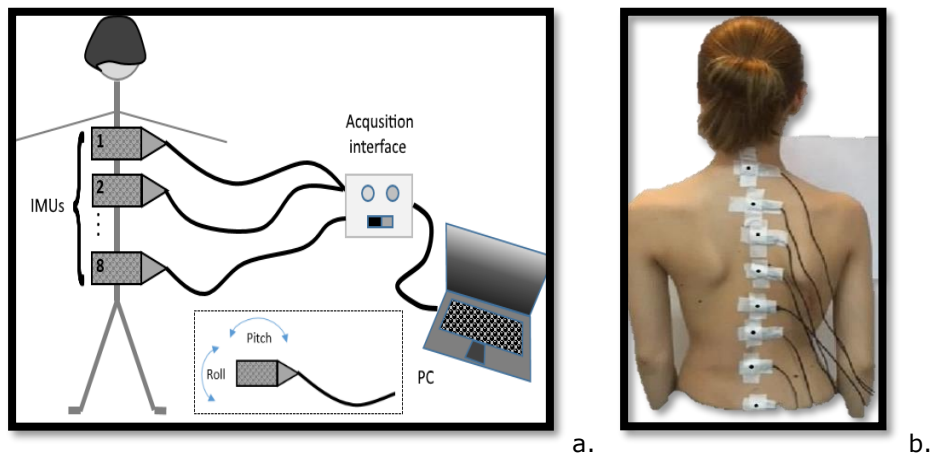


Figura 5.1. a) Schema echipamentului a datelor de la accelerometre. b) Poziționarea senzorilor pe apofizele spinosase

A fost proiectat și realizat un sistem de achiziție alcătuit dintr-un ansamblu de 8 IMU-uri MEMS [117] (unități inerțiale de măsurare) conectate prin magistrala lor I2C la un multiplexor I2C [118] și la o placă de microcontroler [119] (Figura 5.1.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 senzor trebuie lipit pe tegument, deasupra apofizelor spinoase vertebrale (cum se poate observa în Figura 5.1.b). Senzorii accelerometrici generează date constând din cele trei unghiuri ( $\varphi_x, \varphi_y, \varphi_z$ ) 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  $\varphi_{xi}$  ( $i = 1 \dots 8$ ) sunt cunoscute de la senzori, iar distanțele dintre punctele  $l_{i, i+1}$  ( $i = 1 \dots 8$ ) au fost măsurate direct în timpul investigației. În Figura 5.2 sunt reprezentate punctele  $M_1 \dots M_9$ , într-un sistem de referință ortogonal. Celor 8 puncte de măsurare li s-a alăturat un punct care coincide cu originea sistemului de referință [120].

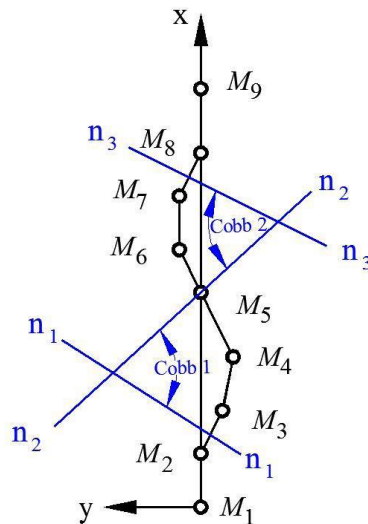


Figura 5.2. Cele 9 puncte de achiziție și unghiurile Cobb

Coordonatele celor 9 puncte sunt calculate cu relațiile care consideră sistemul de referință ortogonal atașat la primul punct inferior:

$$\begin{cases} x_{M1} = 0 \\ y_{M1} = 0 \\ x_{Mi+1} = x_{Mi} + l_i \cos \varphi_i & i = \overline{1,8} \\ y_{Mi+1} = y_{Mi} + l_i \sin \varphi_i & i = \overline{1,8} \end{cases} \quad (5.1)$$

În timpul experimentelor, unghiurile  $\varphi_x$  au fost înregistrate ca funcții de timp, ceea ce face posibilă obținerea variației unghiurilor Cobb în timpul exercițiilor efectuate de pacient sub supravegherea fizioterapeutului.

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. Cantitatea de date transmisă de IMU și colectată este suficientă pentru o analiză ulterioară [120].

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.

Pentru experimentul de validare, pacientul cu scolioză medie în formă de „S”, a fost poziționat în ortostatism. În această poziție s-au efectuat citiri cu echipamentul format din accelerometre și, de asemenea, a fost realizată o fotografie ca referință. Au fost comparate forma coloanei generată cu coordonatele achiziționate, respectiv rezultată printr-o prelucrare de imagine. Rezultatele procedurii de mai sus sunt ilustrate în Figura 5.3., pentru postura ortostatică (0 grade). Pentru această poziție sunt plasate una lângă alta imaginea de referință (Figura 5.3. a), imaginea de referință prelucrată (Figura 5.3. b), reprezentarea grafică a coloanei obținută cu senzorii accelerometrici (albastru) și de pe imagine (roșu) (Figura 5.3.c) și unghiurile Pitch rezultate din cele două abordări (Figura 5.3. d).

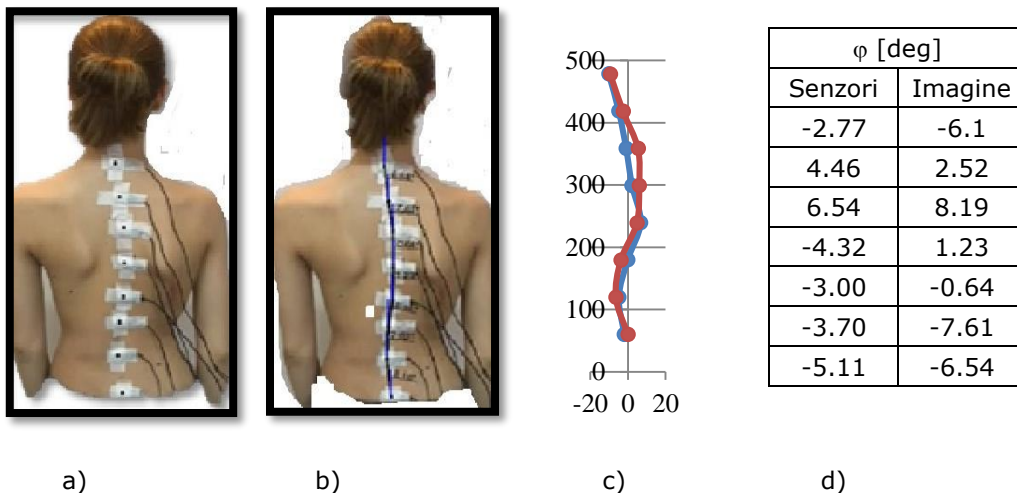


Figura 5.3. a) Imagine de referință, b) Imagine de referință prelucrată, c) Forma coloanei obținută prin prelucrare de imagine, respectiv achiziție de date, d) Unghiurile Pitch rezultate prin prelucrare de imagine, respectiv achiziție de date

Comparând valorile unghiurilor și formelor coloanei obținute prin prelucrarea datelor de la accelerometre și respectiv din imagini directe, se pot face următoarele observații:

- ✓ standardul de referință este considerat a fi imaginea, care oferă informații sigure cu privire la forma coloanei;
- ✓ valorile unghiurilor sunt foarte asemănătoare. Este important de observat că semnele unghiurilor sunt în întregime aceleași, ceea ce este determinant pentru forma coloanei. Prin urmare, ambele metode oferă concavități similare, ceea ce este relevant pentru evaluarea calitativă și cantitativă a deformației;
- ✓ diferența dintre unghiuri este rezonabilă având în vedere că măsurătorile sunt efectuate pe un sistem biologic, care nu poate fi considerat rigid și nemișcat;
- ✓ preluarea imaginii este simultană cu achiziția de date de la accelerometre;

- ✓ formele coloanei, reprezentate pe același grafic, sunt foarte asemănătoare. Diferențele de coordonate ( $x, y$ ) sunt în intervalul de unități (milimetri), ceea ce este considerat acceptabil.

Măsurările cu sistemul de achiziție propus se consideră valide. Sistemul va fi utilizat pentru experimente ulterioare, destinate evaluării eficienței exercițiilor din programele de corectare a deformațiilor de coloană vertebrală.

## 5.2. Sistem de investigare a deviațiilor de coloană vertebrală cu cameră termografică

Imagistica termică este adecvată pentru investigații complementare în kinetoterapie. Utilizarea imaginilor termice are la bază considerentul că activitatea musculară poate fi asociată cu creșterea proporțională a temperaturii musculaturii în raport cu intensitatea activării acesteia.



Figura 5.4. Camera FLIR B200

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.

Informațiile furnizate de imaginea termică sunt calitative, dar cuantificarea nu ar aduce informații suplimentare substanțiale.

Pentru determinările experimentale s-a utilizat o cameră tip FLIR B200 (Figura 5.4), ale cărei caracteristici tehnice sunt redată în Tabelul 5.1.

Tabelul 5.1. Specificațiile camerei FLIR B200

<b>Field of View (FOV) / Close Focus Limit</b>	25° x 19° / 0.4 m (1.31 ft.)
<b>Detector Type</b>	Focal Plane Array (FPA) microbolometer
<b>IR resolution</b>	200 x 150
<b>Spectral range</b>	7.5 to 13 μm
<b>Digital zoom and pan/focus</b>	1x - 2x continuous/auto and manual focus
<b>Display</b>	Built-in touch-screen LCD display, 3.5 in.
<b>Video lamp</b>	1000 cd
<b>Visible light camera resolution</b>	1280 x 1024 (1.3 megapixels)
<b>Object temperature range</b>	-20°C to +120°C (-4°F to +248°F), optional up to +350°C
<b>Accuracy</b>	±2°C (±3.6°F) or ±2% of reading
<b>Measurement modes</b>	5 Spot meters, 5 Box areas, Isotherm, Auto hot/cold spot
<b>Measurement corrections</b>	Reflected ambient temperature and emissivity correction
<b>Digital storage/capacity</b>	Removable SD Memory Card/1000 + JPEGs
<b>Image storage mode &amp; formats</b>	IR/ visible light, simultaneous storage of IR/ visible images, all standard JPEG

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. În Figura 5.5. este prezentată o serie de patru imagini realizate înainte de exerciții (Figura 5.5. a) și imediat după ce pacientul execută câte un exercițiu din cadrul unui program de recuperare luat spre analiză (Figurile 5.5. b, c, d).

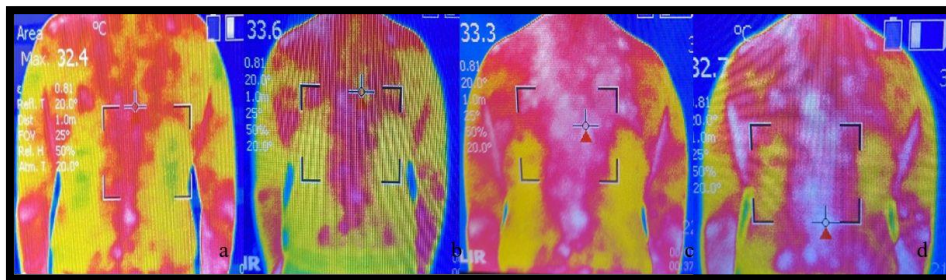


Figura 5.5. Serie de patru imagini preluate înainte de exerciții (a) și după cele trei exerciții din programul de recuperare (b,c,d)

După cum se poate observa în figura 5.5. utilizarea camerei de termoviziune face posibilă observarea și analiza diferențelor în distribuțiile cromatice pe cele patru imagini preluate în patru secvențe temporale distincte. Acestea pot fi interpretate de către fizioterapeut urmărind scările de temperatură asociate reprezentărilor colorate. Se pune astfel în evidență activitatea musculară selectivă, funcție de exercițiu, putând fi apreciată eficiența acestuia. Prin urmare, echipamentul reprezentat de camera de termoviziune FLIR B200 a fost utilizat în timpul experimentelor propuse în cadrul cercetărilor doctorale și acestea vor fi descrise în capitolul 6 al acestei teze.

### 5.3. Concluzii

Capitolul 5 al tezei prezintă echipamentele de investigare utilizate în cadrul cercetărilor.

În prima parte a capitolului este prezentat echipamentul gândit special pentru investigațiile colonei vertebrale în plan frontal, propuse a fi realizate în cadrul cercetării doctorale. Este descrisă modalitatea de funcționare a echipamentului conceput din 8 unități inerțiale de măsurare, care se fixează pe tegumentul subiectului testat și care transmit către un PC cele 3 unghiuri ( $\varphi_x$ ,  $\varphi_y$ ,  $\varphi_z$ ) în jurul axelor unui sistem de referință. S-a prezentat mai apoi aparatul matematic prin care se calculează coordonatele punctelor pe care sunt atașați senzorii accelerometrici și care oferă, ulterior, posibilitatea de a determina forma matematică a coloanei vertebrale.

Următorul paragraf descrie un experiment de verificare și validare a informațiilor obținute cu ajutorul echipamentului conceput. Astfel, imagini achiziționate cu subiectul de studiu, în poziție ortostatică, a făcut posibilă compararea valorilor unghiurilor Cobb obținute prin achiziție de date și, respectiv prin prelucrarea unei imagini de referință.

În partea a doua a capitolului s-a prezentat termograful FLIR B200 care a fost utilizat în această cercetare pentru a observa eficiența contracțiilor musculare în timpul exercițiilor de recuperare. Pe lângă specificațiile camerei FLIR B200, în cadrul capitolului s-a realizat și o expunere a motivelor pentru care a fost ales acest tip de investigație în cadrul cercetării de față.

## 6. CERCETĂRI EXPERIMENTALE

### 6.1. Determinări experimentale cu echipamentul bazat pe senzori accelerometrici

#### 6.1.1. Validarea datelor experimentale prin comparare cu valori determinate pe radiografie – lot de subiecți

Pentru validarea rezultatelor descrise la capitolul 4, s-au realizat măsurări pe un lot de 9 subiecți. Măsurările experimentale în care s-a utilizat echipamentul alcătuit din senzori accelerometrici au fost efectuate în cabinetul de recuperare Ortokinetică VMC SRL. Toți participanții au fost informați de la început despre scopul studiului, dar și modul în care acesta va fi realizat. Întrucât, în studiul de cercetare au fost implicați minori, părinții sau tutorii legali ai acestora au semnat un acord privind participarea minorilor la studiu. Întregul experiment s-a realizat în conformitate cu Declarația de la Helsinki.

Pentru desfășurarea experimentului pacienții au fost poziționați în ortostatism, exact cum se realizează preluarea de imagine radiologică. Senzorii accelerometrici au fost fixați pe apofizele spinose. Pentru realizarea calculului matematic s-au notat distanțele dintre senzori și s-au luat spre analiză doar unghiurile Pitch corespunzătoare înclinării în plan frontal a coloanei vertebrale.

Pentru calculul matematic s-a utilizat polinomul de aproximare de gradul 4 în cazul scoliozelor cu o singură curbă și polinomul de aproximare de gradul 5 pentru scoliozele cu două curbură, conform concuziilor de la capitolul 4 [116]. Rezultatele obținute în urma achiziției de date și prelucrării matematice sunt prezentate în Tabelul 6.1. de mai jos

Tabelul 6.1. Comparatie între valorile unghiurilor Cobb calculate pe RX și valorile obținute prin calcul matematic

Subiecți luați în studiu	Valorile unghiurilor Cobb calculate pe RX	Valorile unghiurilor Cobb obținute matematic
Subiect 1	15°L / 17°T	14,8°L / 18,77°T
Subiect 2	10°L / 16°T	11,53°L / 16,76°T
Subiect 3	13°T / 10°L	14,33°T / 10,56°L
Subiect 4	16°TL	6,50°T / 16,48°L
Subiect 5	12°T / 16°L	11,72°T / 16,72°L
Subiect 6	16°T / 10°L	16,66°T / 11,73°L
Subiect 7	12°L	13,17°L
Subiect 8	13°L / 19°L	11,48°L / 16,61°T
Subiect 9	22°L / 23° T	18,46°L / 19,05°T

În Tabelul 6.1 se poate observa că valorile unghiurilor Cobb obținute în urma aplicării algoritmilor matematici descriși în capitolul 4 au 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 confirmă ipoteza utilizării unor polinoame de aproximare de gradul 4 pentru scoliozele cu o singură curbă și a celor de gradul 5 pentru scoliozele cu două curbură în detrimentul polinoamelor de grade mai mari.



### 6.1.2. Dezvoltarea unui program de citire rapidă a datelor

Calcululele matematice necesare realizării modelului matematic al coloanei vertebrale fiind destul de anevoioase s-a realizat un program în Matlab care să faciliteze întregul proces. Programul ajută la obținerea automată a reprezentării grafice a formei aproximative a coloanei, reușind să se obțină direct unghiurile Cobb în funcție de punctele de inflexiune calculate. Programul conceput folosește ca algoritm matematic polinomul de gradul 5 și se desfășoară pe mai multe secvențe în care sunt introduse pe rând datele de la accelerometre și distanțele dintre senzori. S-a creat o interfață a programului care este prezentată în Figura 6.1.

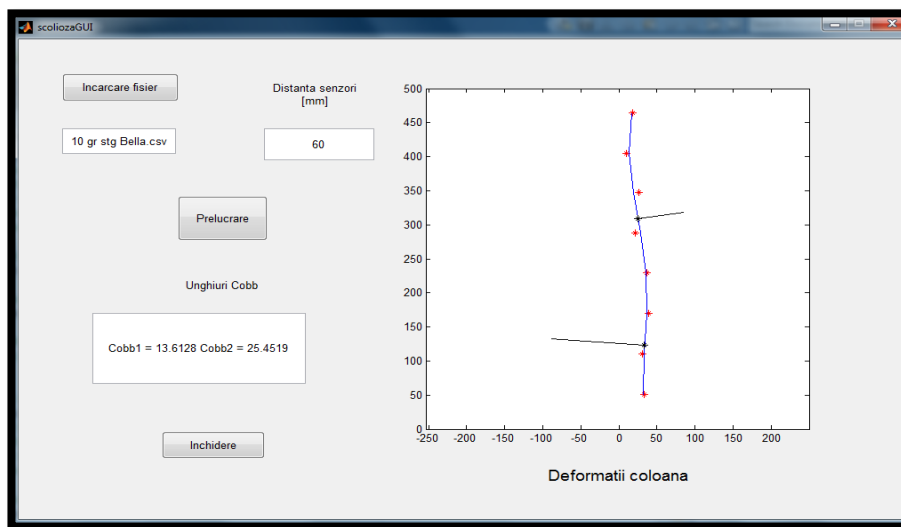


Figura 6.1. Interfața programului în Matlab

Pentru poziția de ortostatism în cazul unei scolioze duble s-a obținut un grafic al coloanei reprezentat mai jos în Figura 6.2.

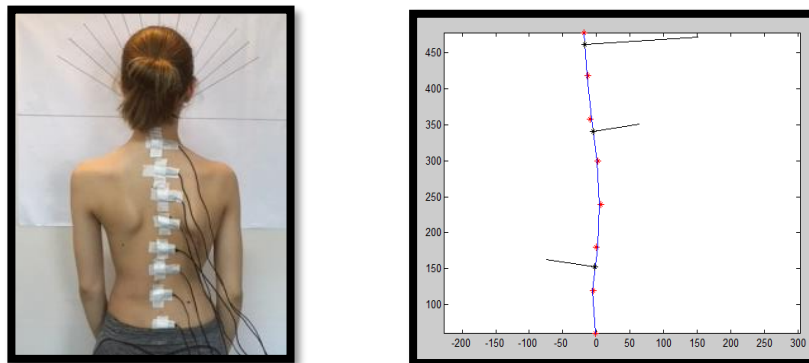


Figura 6.2. a) Poziționarea subiectului testat, b) Reprezentarea grafică a coloanei în Matlab

Realizarea programului în Matlab facilitează interpretarea datelor de la senzorii accelerometrici, ceea ce face posibilă în continuare analiza modificărilor survenite la nivelul coloanei vertebrale în cazul unui număr mai mare de subiecți pentru evaluarea poziției coloanei vertebrale atât static cât și dinamic (în timpul exercițiilor indicate de fizioterapeut).

### **6.1.3. Analiza modificării unghiurilor Cobb în timpul diferitelor mișcări realizate de subiecții diagnosticați cu scolioză**

La baza programelor de recuperare stă exercițiul fizic definit ca „acțiune motrică cu valoare instrumentală conceput și programat în vederea realizării obiectivelor proprii diferitelor activități motrice” [121].

Metoda clasică de recuperare care își are originea în exercițiile de gimnastică din sistemul Ling, utilizează mișcarea de înclinare de partea convexității ca mișcare corectivă în cazul scoliozelor. În timpul acestor mișcări musculatura de partea convexității se scurtează, realizând o contracție concentrică iar musculatura de pe partea concavității se alungește realizând o contracție excentrică. Acest tip de mișcare urmărește doar o corecție analitică, într-un singur plan a scoliozei.

Metodele de reabilitare care s-au dezvoltat în ultimii ani folosesc tot mai mult contracția izometrică (statică) a musculaturii de la nivelul trunchiului. Aceste contracții sunt realizate doar după ce corpul este poziționat astfel încât să se efectueze corecții în cele trei planuri prin elongația coloanei vertebrale în plan sagital, deflexia în plan frontal și derotarea corpilor vertebrali în plan transversal.

#### **6.1.3.1. Analiza mișcărilor de înclinare laterală**

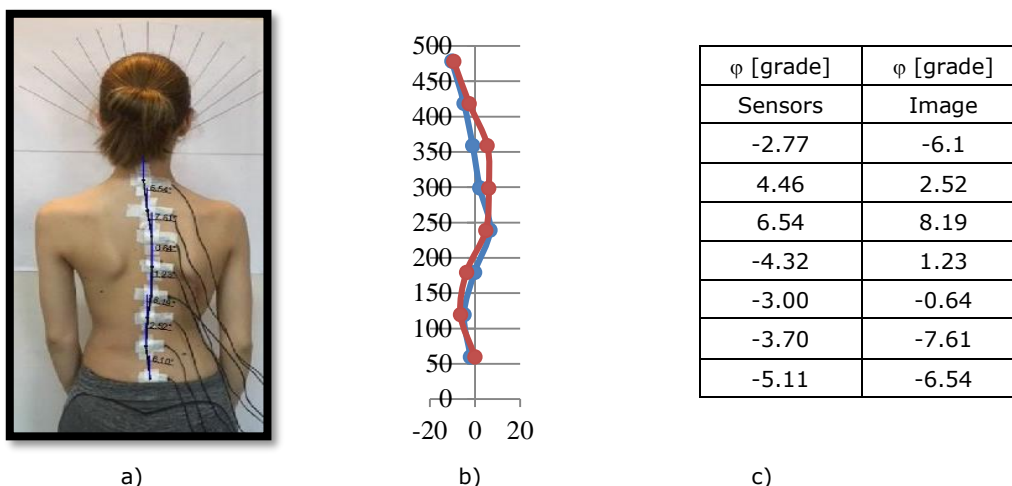
Mișcările de înclinare laterală sunt folosite în cadrul programelor de kinetoterapie clasică dar și în activitățile zilnice. Majoritatea subiecților diagnosticați cu scolioză realizează, zi de zi, mișcări în diferite planuri și axe, modificând permanent poziția coloanei vertebrale. Pentru realizarea cercetării am aplicat același protocol descris în capitolul 4.1 în care valorile obținute în urma datelor culese de la accelerometre le-am comparat cu valori calculate pe imagini achiziționate în timpul efectuării mișcării propriu-zise.

Experimental s-a analizat cu ajutorul echipamentului conceput din senzori IMU modificările pe care le suferă coloana vertebrală în cazul înclinării laterale la diferite grade de flexie spre dreapta și spre stânga. S-a folosit un protocol în care un participant la studiu cu o scolioză cu dublă curbura a realizat înclinări atât de partea dreaptă cât și de partea stângă pe o scală progresivă din  $10^\circ$  în  $10^\circ$ . Astfel, s-au efectuat înregistrări ale poziției coloanei vertebrale față de axa verticală ( $0^\circ$ ), apoi cu înclinare de  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$  spre dreapta și de  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$  spre stânga. Mișcarea subiectului a fost ghidată pe o scală gradată aflată în fața acestuia. Pentru fiecare poziție de înclinare laterală a fost realizată atât o achiziție de date de la senzorii accelerometrici cât și o achiziție fotografică, necesară pentru a valida forma generată matematic [122].

Prima măsurare s-a realizat în poziția verticală ( $0^\circ$ ) (considerată poziție de start pentru experiment) și apoi pentru fiecare poziție de flexie laterală spre partea convexității toracale și spre partea convexității lombare, din  $10^\circ$  în  $10^\circ$ . Au fost calculate prin protocolul descris și în capitolele anterioare valorile unghiurilor Cobb [123].

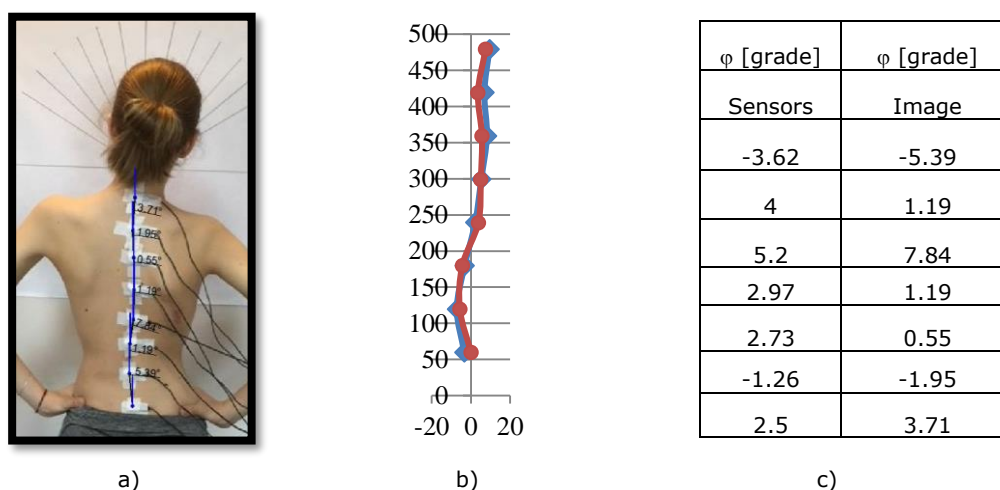
Formele obținute în urma modelării pot fi vizualizate mai jos, în Figurile 6.3, 6.4, 6.5., 6.6 și 6.7. Sunt prezentate una lângă alta imaginea preluată, reprezentarea

grafică a coloanei vertebrale rezultată din informațiile transmise de la senzorii accelerometrici (cu albastru) și din imagine (cu roșu).



a) b) c)  
 Figura 6.3. a) Imaginea preluată, b) Forma coloanei rezultată prin modelare și, respectiv de pe imaginea de referință, c) Valorile unghiurilor de înclinare (0 grade).

După testarea în poziția de start, subiectul a realizat înclinare laterală spre dreapta (de partea convexității toracale). Acest tip de mișcare este adesea utilizată în cadrul exercițiilor fizice de recuperare pentru deschiderea concavității prin întinderea musculaturii scurtate.



a) b) c)  
 Figura 6.4. a) Imaginea preluată, b) Forma coloanei rezultată prin modelare și, respectiv de pe imaginea de referință, c) Valorile unghiurilor de înclinare spre dreapta (+10 grade)

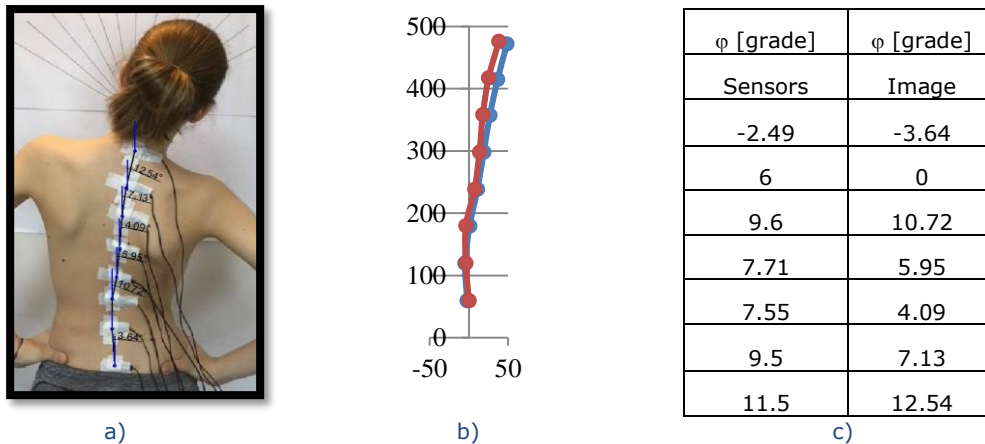


Figura 6.5. a) Imaginea preluată, b) Forma coloanei rezultată prin modelare și, respectiv de pe imaginea de referință, c) Valorile unghiurilor de înclinare spre dreapta (+30 grade).

Analiza comparativă a imaginilor din poziția de start și cele din poziția de înclinare de  $10^\circ$  de pe partea convexității toracale (vertexul subiectului fiind orientat pe direcția celor  $10^\circ$  de înclinare) evidențiază o aliniere a corpurilor vertebrale din zona toracală dar cu o ușoară accentuare a curburii din zona lombară (Figura 6.4.).

Înclinarea de partea convexității toracale pentru  $30^\circ$  (vertexul subiectului fiind orientat pe direcția celor  $30^\circ$  indicate pe scala poziționată anterior) a evidențiat o aliniere a corpurilor vertebrale în zona toracală, dar cu o accentuare a unghiurilor în zona lombară prin ambele metode utilizate, așa cum se poate observa în Figura 6.5.

Privind comparativ valorile obținute la înclinarea trunchiului de pe partea convexității toracale putem concluziona că amplitudinea din ce în ce mai mare a mișcării de înclinare de pe partea convexității toracale determină o creștere a valorilor unghiurilor Cobb în zona lombară și prin urmare există o accentuare a scoliozei în această zonă.

Pe de altă parte, înclinarea de partea concavității toracale (convexității lombare) este considerată în reabilitare ca fiind o mișcare ce poate agrava curbura toracală. Experimentul realizat a măsurat înclinarea de pe partea concavității toracale la  $10^\circ$ ,  $20^\circ$  și  $30^\circ$ . S-a observat în timpul experimentului o aliniere a corpurilor vertebrale din zona lombară dar cu o accentuare a curburii în zona toracală. Acest lucru este observat și în comparația dintre poziția de start ( $0^\circ$ ) și cea de înclinare  $10^\circ$  și  $30^\circ$  spre stânga din Figurile 6.6. și 6.7.

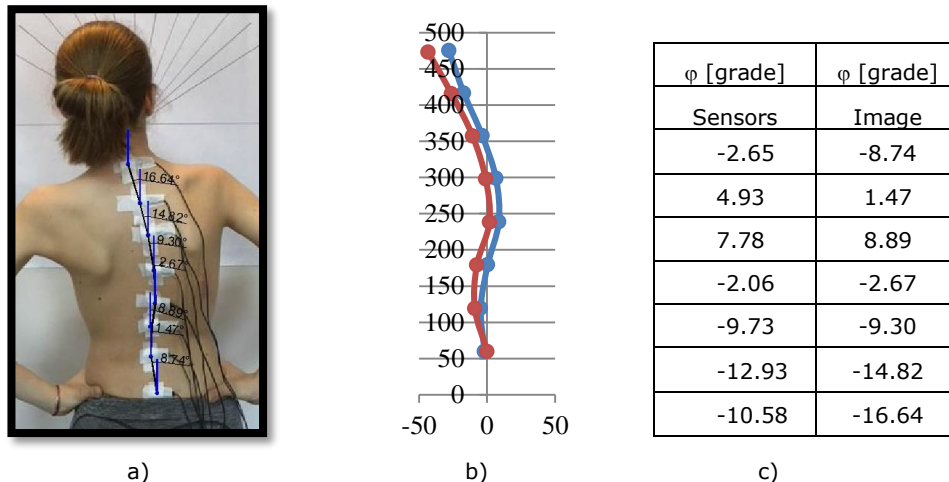


Figura 6.6. a)Imagina preluată, b)Forma coloanei rezultată prin modelare și, respectiv de pe imaginea de referință, c)Valorile unghiurilor de înclinare spre stânga (-10 grade).

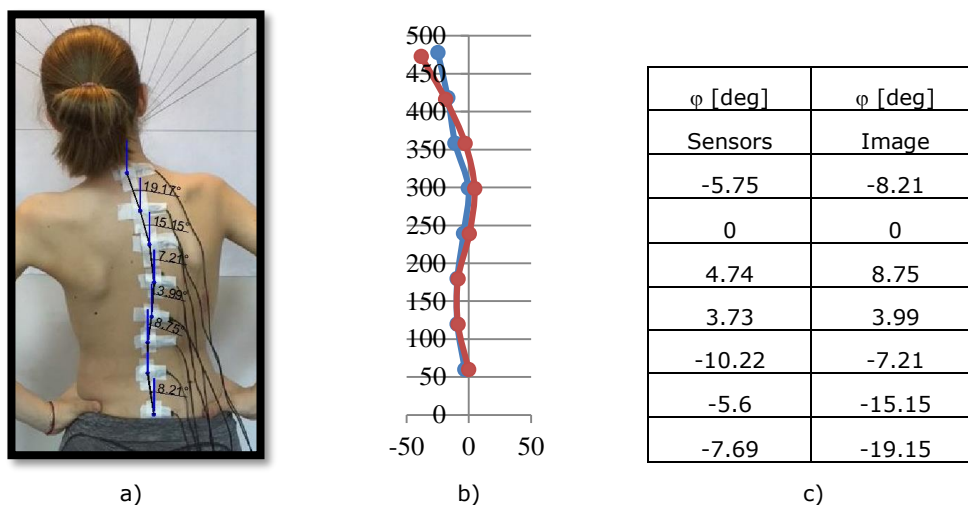


Figura 6.7. a)Imagina preluată, b)Forma coloanei rezultată prin modelare și, respectiv de pe imaginea de referință, c)Valorile unghiurilor de înclinare spre stânga (-30 grade).

Privind analitic fiecare curbă în parte, mișcarea care determină alinierea corpurilor vertebrale este cea de înclinare de pe partea convexității; prin urmare în cazul scoliozelor cu o singură curbă 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 curbă înclinările laterale accentuează una din curbură, 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.

### 6.1.3.2. Analiza exercițiilor fizice din metode diferite de tratament

Numeroase studii și cercetări au luat în discuție eficiența exercițiilor fizice în cazul scoliozelor idiopatice. Până în momentul de față cercetătorii din domeniu nu au ajuns la un consens legat de eficacitatea exercițiilor în cazul deviațiilor de coloană. Așa cum se specifică în capitolul 2, în funcție de valoarea unghiului Cobb se poate opta între intervenția prin kinetoterapie specifică (unghi Cobb între 10° și 25°) sau tratament ortopedic (corset) și kinetoterapie (scolioze cu unghi Cobb peste 25°) [35]. Dacă tratamentul ortopedic a fost studiat îndelung și eficacitatea sa a fost demonstrată științific, în ceea ce privește metodele kinetoterapeutice eficacitatea lor este încă discutată și analizată. Eterogenitatea protocoalelor de studiu limitează mult generalizarea recomandărilor pe care terapeuții ar trebui să le ofere subiecților cu scolioză [11].

Cel mai studiat mijloc de intervenție terapeutică în ultimii ani este metoda Schroth, care se pare că întrunește, după cercetătorii din domeniu, toate criteriile de eficacitate (este o metodă "evidence based"). Cu toate că este apreciată și recunoscută, metoda Schroth are limitările ei: se aplică doar subiecților cu vârstă peste 9-10 ani, este nevoie de o dezvoltare motrică foarte bună pentru a executa corect exercițiile, se adresează doar scoliozelor idiopatice.

Atât în străinătate cât și la noi în țară se utilizează și exerciții specifice altor metode, pentru a opri din evoluție sau a corecta scolioza. Metodele cel mai utilizate au fost descrise în capitolul 2. În funcție de formarea kinetoterapeutului se poate alege între exerciții din metoda Schroth, metoda DoboMed, metoda Cotrel, metoda Klapp, metoda Mézières, exercițiile de întindere și tonifiere (exerciții din gimnastica Ling) sau exercițiile de corecție posturală.

Pornind de la observațiile de mai sus s-a utilizat echipamentul format din senzori accelerometrici pentru a observa modificările unghiurilor Cobb în cazul executării unor exerciții specifice diferitelor metode, analizându-se exerciții care sunt mai des utilizate în programele de recuperare specifice scoliozelor idiopatice. Astfel, au fost alese spre analiză trei exerciții din trei metode diferite:

- Primul exercițiu a fost ales din **metoda Schroth** – acest exercițiu realizat din ortostatism se numește "cilindrul muscular". Pacientul este poziționat în fața oglinzii, cu tălpile depărtate la distanța șoldurilor și corectate din punct de vedere a poziționării pe sol; mâinile sunt poziționate la nivelul creștelor iliace sau pot fi poziționate pe două bastoane situate lateral de pacient. Subiectul înclină trunchiul înainte la un unghi de aproximativ 45°, flectând șoldurile și genunchii. În această poziție se execută corecții în cele trei planuri: cifozare toracală (fiziologică) și lordozare lombară (fiziologică) în plan sagital, deflexie în plan frontal și derotare în plan transversal. Toate modificările posturale corective se fac la indicațiile terapeutului. Menținând toate corecțiile pacientul inspiră profund și efectuează elongații ale coloanei vertebrale prin tracționarea capului, apoi pe expir profund ("șuerat" specific metodei Schroth) musculatura spatelui face o contracție izometrică fixând poziția corectă a spatelui. Respirația de tip Schroth continuă timp de câteva minute.

- Cel de-al doilea exercițiu a fost ales din **metoda Mézières** Pacientul este poziționat în așezat alungit cu membrele inferioare depărtate, cu genunchii întinși iar piciorul în flexie dorsală față de gambă; brațele ridicate paralel cu solul și depărtate; se poziționează coloana vertebrală în corecție în plan sagital cu lordoza și cifoza fiziologice, activând mușchii paravertebrali. Din această poziție subiectul realizează elongații ale coloanei și respirații corective abdominale, cu derotarea umerilor și pelvisului.

• Cel de-al treilea exercițiu a fost ales din **gimnastica medicală clasică**. Din poziția atârnat la scara fixă, cu mâinile depărtate la distanța umerilor, picioarele apropiate, trunchiul în tensiune, omoplații în adducție, abdomenul încordat. Subiectul păstrează toate corecțiile în sagital și frontal pentru câteva secunde și realizează respirații corective.

În Figura 6.8. sunt prezentate schematic exercițiile descrise mai sus pentru o înțelegere exactă a lor.

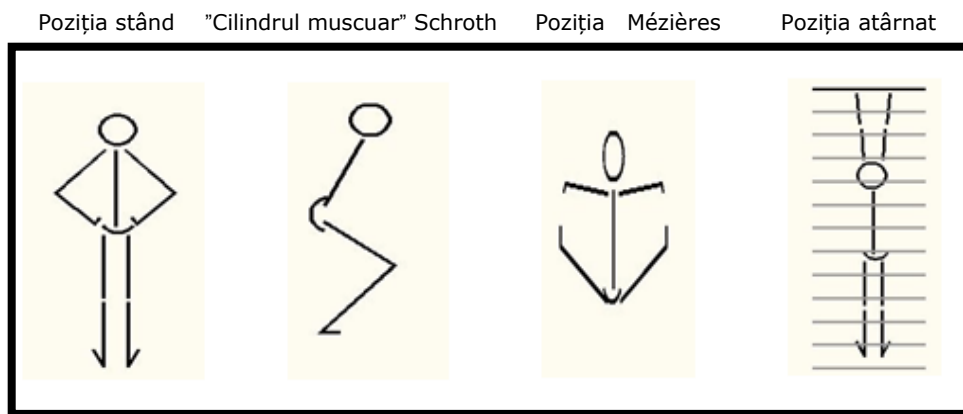


Figura 6.8. Reprezentarea grafică a exercițiilor selectate pentru analiză

În timpul exercițiilor pe spatele subiecților participanți la studiu au fost poziționați senzorii echipamentului cu accelerometre la distanțe egale între ei. Primul senzor a fost poziționat la nivelul primei vertebre sacrale S1 și ultimul senzor la nivelul vertebrei cervicale C7, așa cum se poate vedea în Figura 6.9.

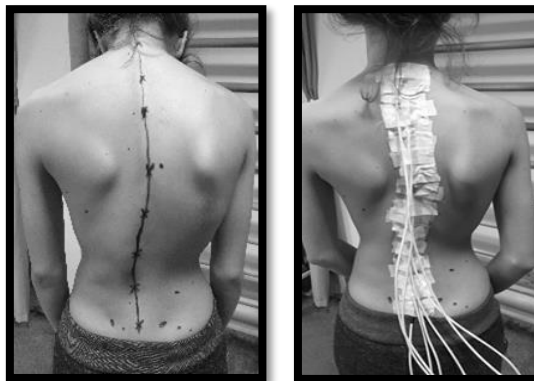


Figura 6.9. Poziționarea senzorilor pe spatele unui subiect participant la studiu

Sunt prezentate în continuare datele experimentale pentru un subiect ce a fost diagnosticat cu o scolioză dublă, cu unghiurile Cobb calculate de către radiolog:  $22^\circ$  în zona lombară și  $28^\circ$  în zona toracală.

După poziționarea echipamentului pe spatele subiectului s-a realizat o primă achiziție de date în poziția de ortostatism așa cum s-a efectuat achiziția de imagine pe radiografie. S-au calculat astfel, mai întâi unghiurile Cobb pentru această poziție.

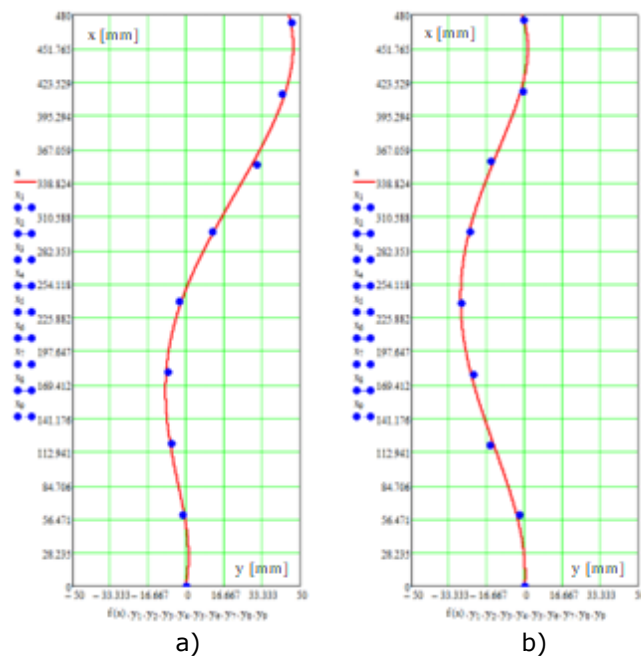
Valorile distanțelor dintre senzori  $l_i$  și valorile unghiurile  $\varphi_i$  preluate de la senzori au fost introduse în programul Mathcad 14, unde s-a realizat în continuare calculul și graficele. Folosind ca bază de calcul polinomul de aproximare de gradul 5 s-au obținut punctele de inflexiune și valorile unghiurilor Cobb pentru această poziție, considerată poziție de referință. În urma calculului matematic, folosind polinomul de aproximare de gradul 5, unghiul Cobb pe zona lombară a rezultat  $21.84^\circ$  și în zona toracală  $28.37^\circ$ . Valorile unghiurilor Cobb obținute în ortostatism au avut abateri minime de  $\pm 0.4^\circ$  cu valorile calculate de medicul radiolog pe RX.

Pentru fiecare din exercițiile descrise mai sus s-a aplicat același protocol de calcul și s-au obținut valorile prezentate în Tabelul 6.2 de mai jos:

Tabelul 6.2. 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	$22^\circ$	$21.84^\circ$	$14.79^\circ$	$11.44^\circ$	$22.25^\circ$
Cobb 2	$28^\circ$	$28.37^\circ$	$21.39^\circ$	$23.24^\circ$	$24.21^\circ$

Reprezentarea grafică a valorilor obținute în urma calculului matematic este prezentată în Figura 6.10.





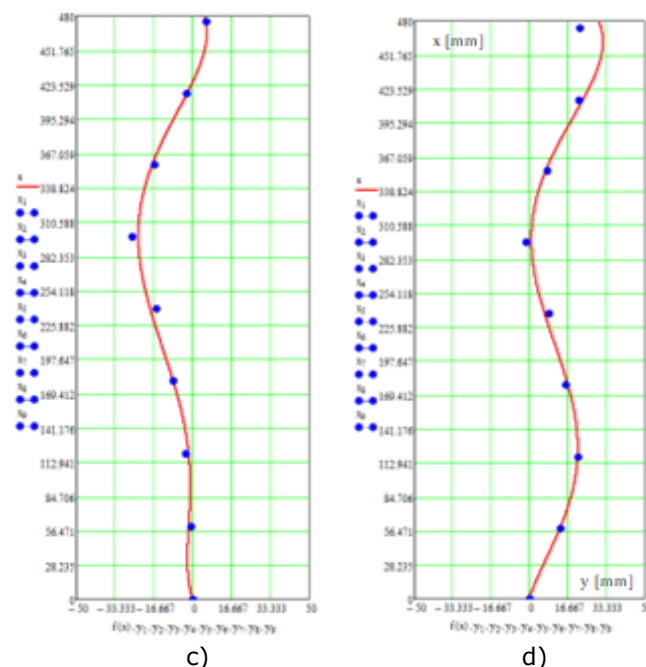


Figura 6.10. Modelul coloanei vertebrale calculat cu ajutorul polinomului de aproximare de gradul 5 în cadrul diferitelor exerciții a) Ortostatism, b) Schroth, c) Mézières, d) Atârnat

Valorile unghiurilor Cobb calculate în diferite secvențe ale exercițiilor au fost comparate cu valoarea unghiului Cobb obținut pe RX. Unghiurile Cobb calculate în pozițiile în care se așează coloana vertebrală în timpul celor 3 exerciții luate în studiu, au scăzut comparativ cu valoarea de referință de pe radiografie (excepție exercițiul atârnat în zona lombară).

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 (exercițiul "cilindrul muscular" în care se realizează mult mai ușor corecțiile în cele trei planuri). 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, în timp ce în zona lombară, unghiul Cobb a crescut ușor. Această ultimă poziție se realizează în lanțul kinetic (cinematic) deschis și necesită din partea pacientului un control puternic al părții inferioare a corpului (poate de aceea unghiul Cobb din regiunea lombară a arătat o ușoară creștere a valorii, în comparație cu cea din poziția în de ortostatism).

Plecând de la rezultatele obținute în cadrul acestui experiment s-a aplicat protocolul de evaluare a exercițiilor și altor 9 subiecți cu scolioză care au făcut parte din lotul luat în studiu. Rezultatele obținute sunt prezentate în Tabelul 6.3.

Tabelul 6.3. Valorile unghiurilor Cobb calculate matematic în timpul efectuării exercițiilor

Subiecți luați în studiu	Valorile unghiurilor Cobb RX	Valorile unghiurilor Cobb în ortostatism	Valorile unghiurilor Cobb în exercițiul din metoda Mézières	Valorile unghiurilor Cobb în exercițiul Schroth	Valorile unghiurilor Cobb în exercițiul din atârnat
Subiect 1 scolioză ușoară	15°L 17°T	14.8°L 18.77°T	11.18°L 12.77°T	10.30°L 11.38T	14.06°L 5.28°T
Subiect 2 scolioză ușoară	10°L 16°T	11.53°L 16,76T	9 ,15°L 13,29°T	8,27°L 11,23°T	10,24°L 11,85°T
Subiect 3 scolioză ușoară	13°T 10°L	14.33°T 10.56°L	9.75°T 0.00°L	9,38°T 0.33°L	4.62°T 11.18°L
Subiect 4 scolioză ușoară	16L	16.48°L 6.50°T	1.82°L 1.59°T	2.07°L 2.02°T	14.13°L 11.62°T
Subiect 5 scolioză ușoară	12°T 16°L	11.72°T 16.72	10,84°T 8.06°L	10.84°T 8.06°L	11.72°T 9.13°L
Subiect 6 scolioză ușoară	16°T 10°L	16,66°T 11.73°L	11.45°T 3.69°L	9.82°T 1.61°L	11,90°T 1.58°L
Subiect 7 scolioză ușoară	12°T-L	13.17°L	9.54°L	8.70°L	11.12°L
Subiect 8 scolioză medie	13°L 19°T	11.48°L 16.61°T	8.51°L 11.35° T	9.02°L 10.18°T	21.44°L 3.8°T
Subiect 9 scolioză medie	22°L 23° T	18.46°L 19.50°T	15.11°L 15.46°T	14.45°L 15.13°T	16.80°L 17.75°T

Modelele pe care s-a operat sunt ilustrate în Figurile 6.11...6.19, unde pe orizontală avem axa x [mm] și pe verticală axa y [mm] a coloanei vertebrale.

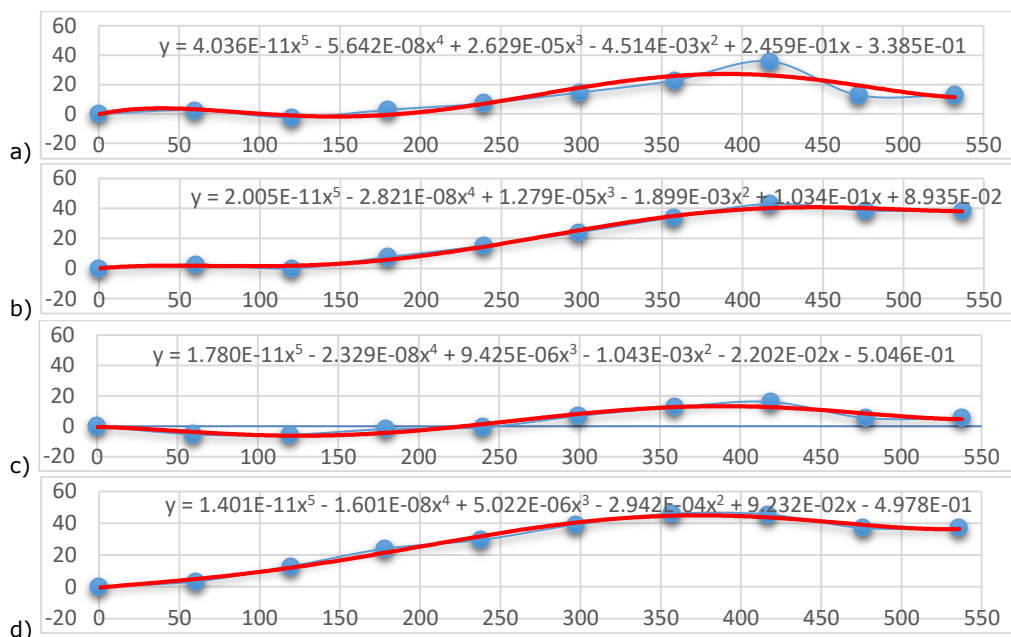


Figura 6.11. Model coloană în ortostatism a), Mezieres b), Schroth c) și atârnat d)– pacient 1

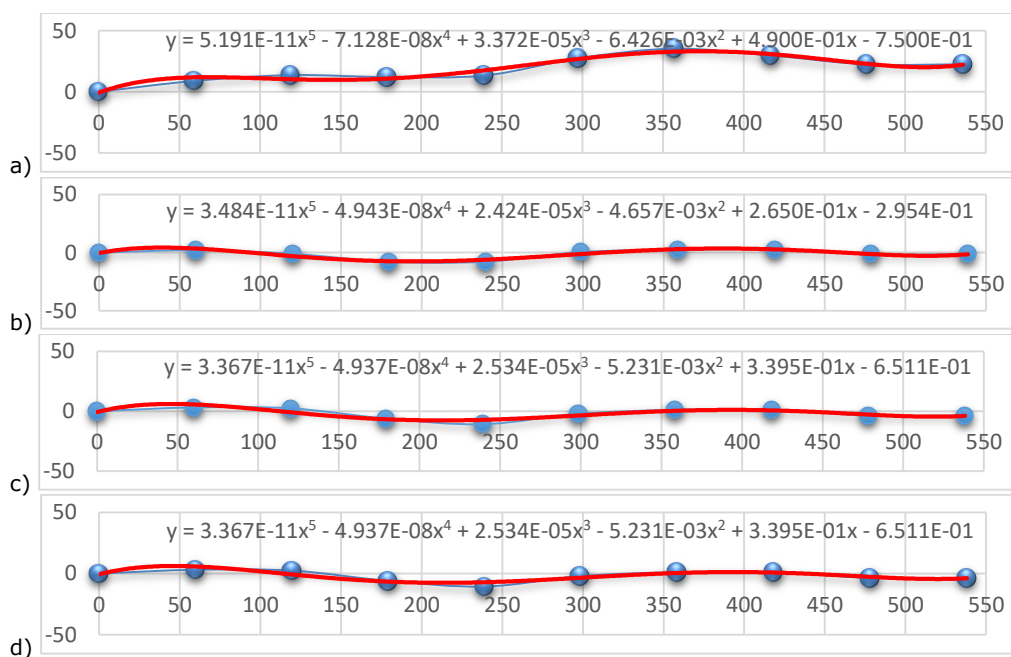


Figura 6.12. Model coloană în ortostatism a), Mezieres b), Schroth c) și atârnat d)–pacient 2

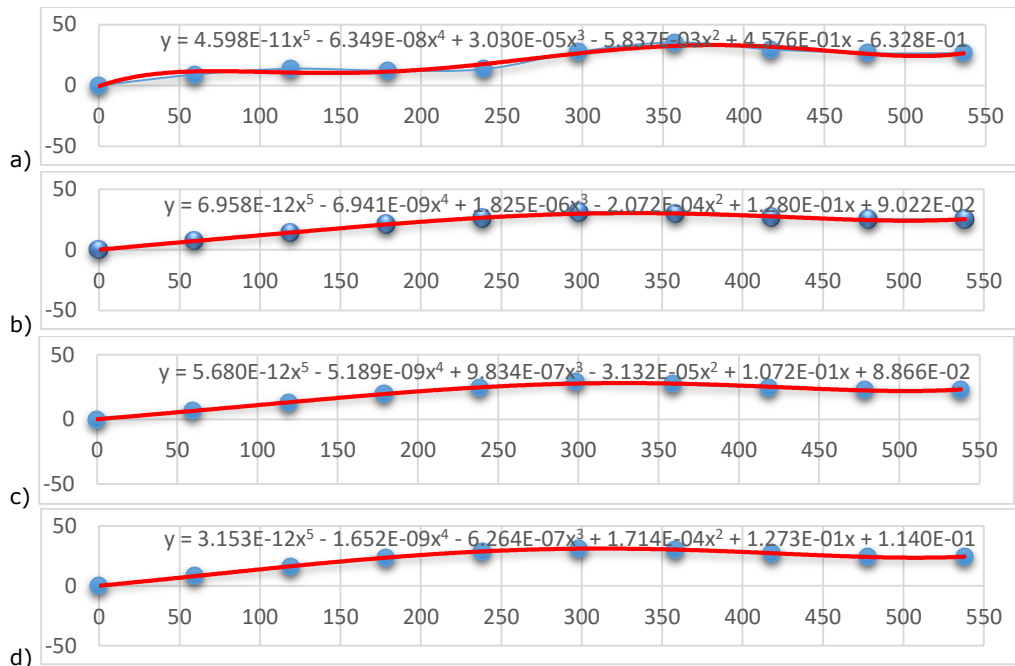


Figura 6.13. Model coloană în ortostatism a), Mezieres b), Schroth c) și atârnat d)– pacient 3

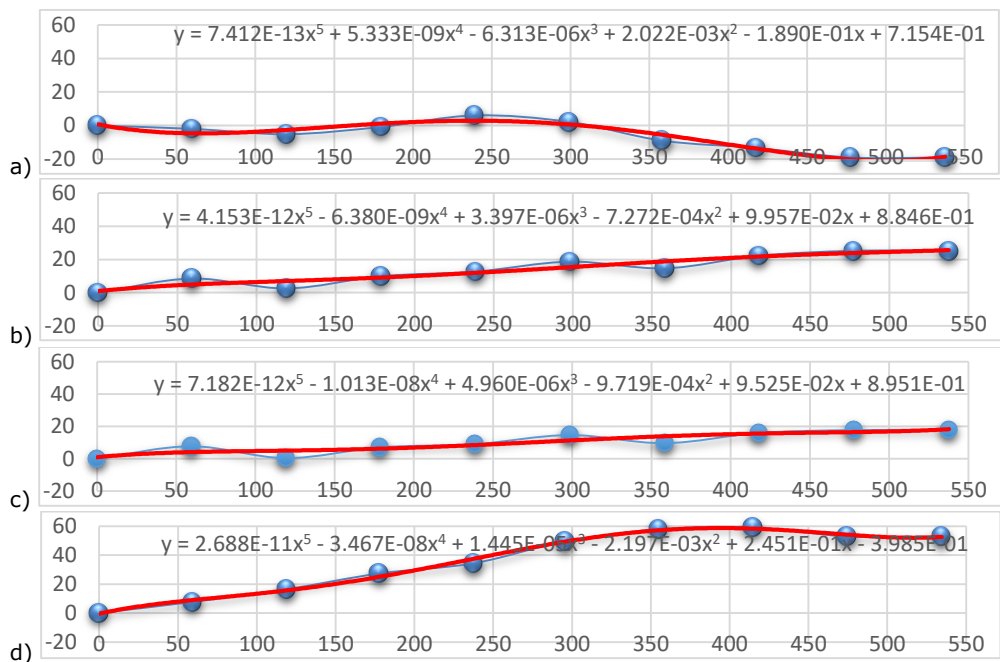


Figura 6.14. Model coloană în ortostatism a), Mezieres b), Schroth c) și atârnat d)– pacient 4

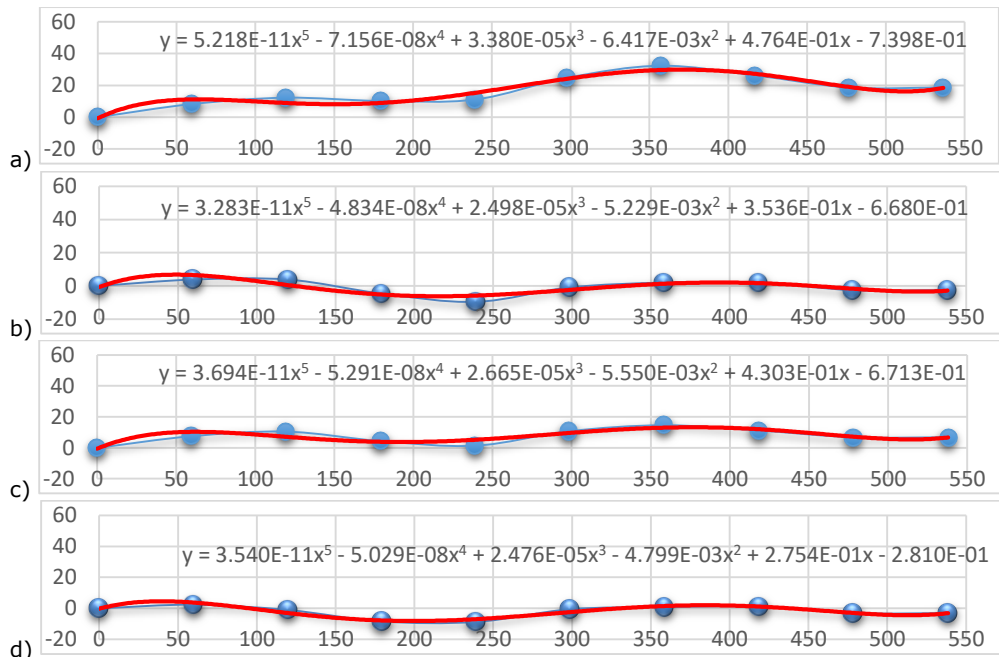


Figura 6.15. Model coloană în ortostatism a), Mezieres b), Schroth c) și atârnat d)– pacient 5

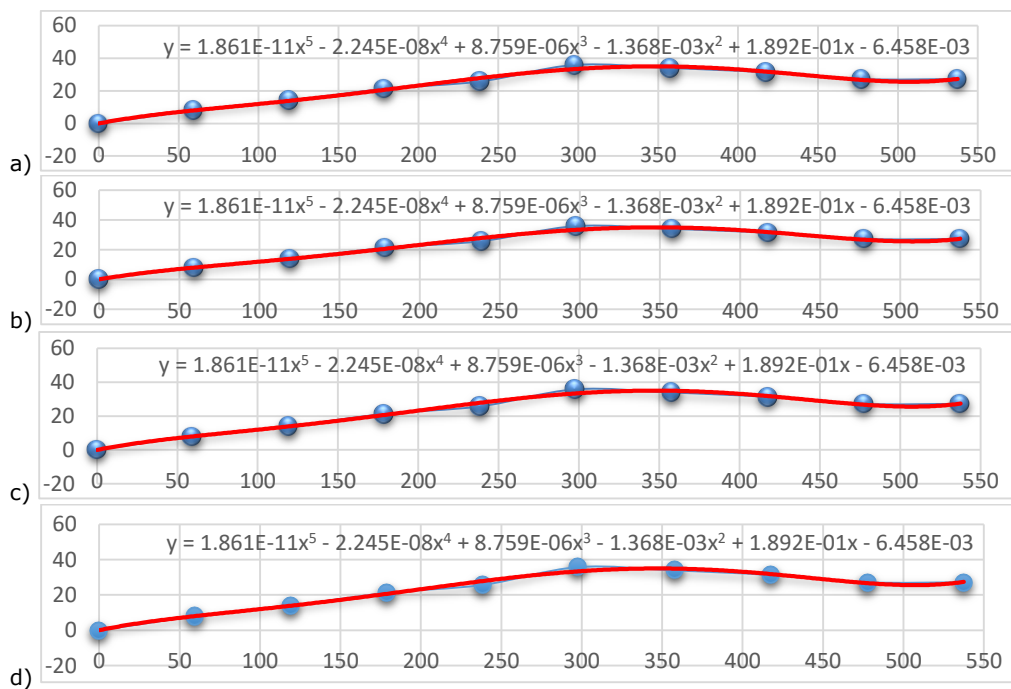


Figura 6.16. Model coloană în ortostatism a), Mezieres b), Schroth c) și atârnat d)– pacient 6

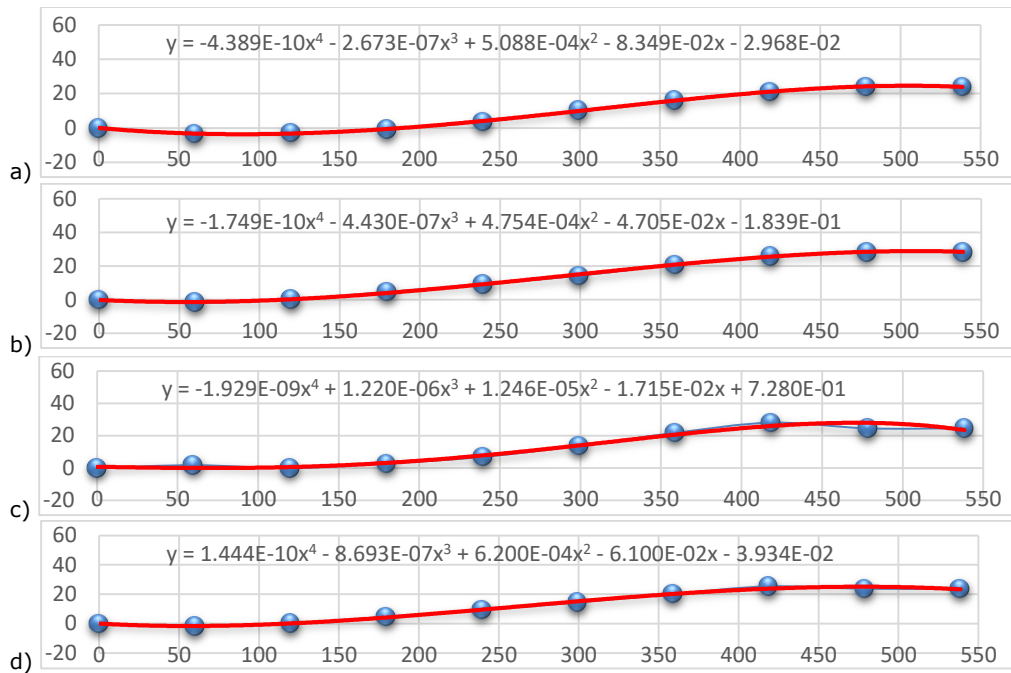


Figura 6.17. Model coloană în ortostatism a), Mezieres b), Schroth c) și atârnat d) – pacient 7

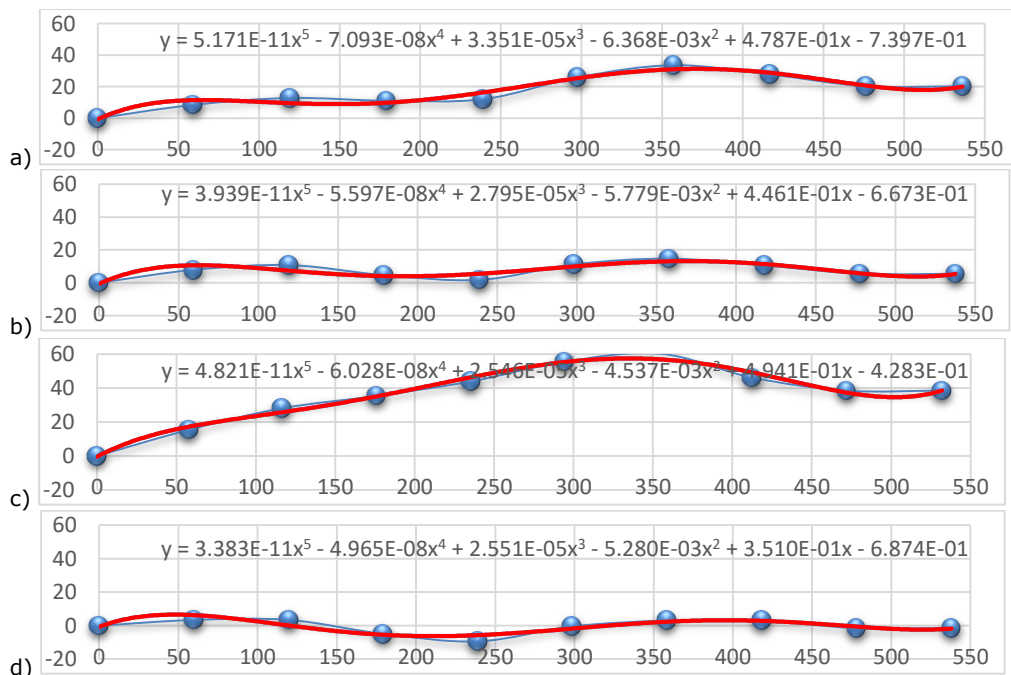


Figura 6.18. Model coloană în ortostatism a), Mezieres b), Schroth c) și atârnat d) – pacient 8

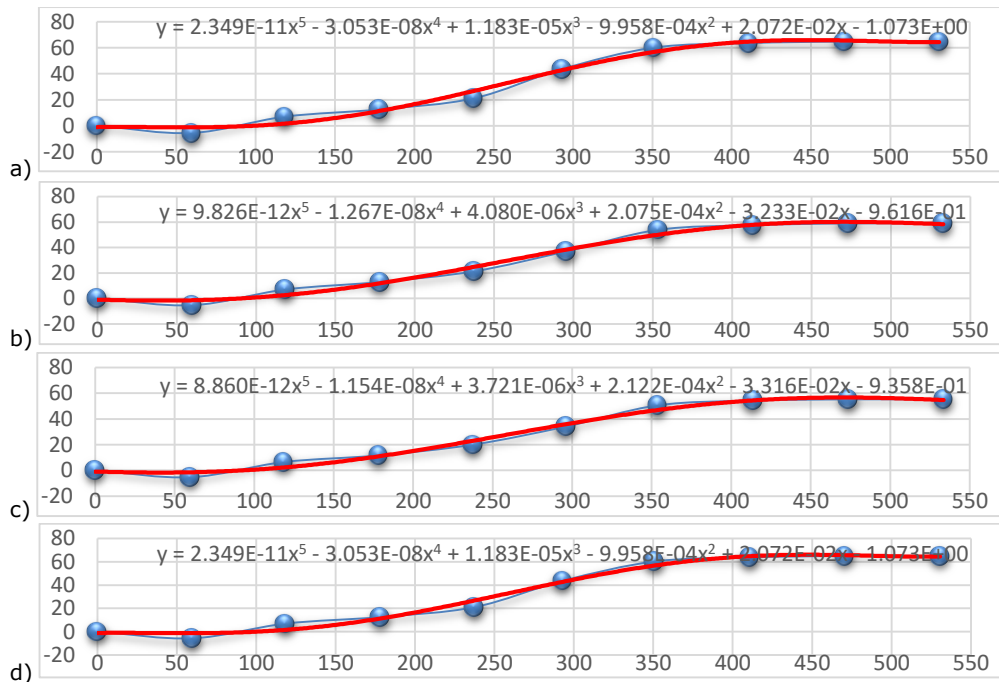


Figura 6.19. Model coloană în ortostatism a), Mezières b), Schroth c) și atârnat d) – pacient 9

Analizând modelele obținute în urma calculelor matematice pe întreg lotul de studiu se observă :

- ✓ în timpul exercițiilor de recuperare unghiurile Cobb își modifică valoarea în funcție de mișcarea aleasă a fi efectuată;
- ✓ datele preluate de la senzorii accelerometrici pot fi utilizate pentru a observa modificările suferite de coloana vertebrală în timpul exercițiilor de kinetoterapie;
- ✓ exercițiile din atârnat determină o aliniere a corpurilor vertebrale în principal în zona toracală. Astfel unghiul Cobb toracal poate fi micșorat prin atârnat la scara fixă, dar în zona lombară nu s-a înregistrat o corecție corespunzătoare, probabil ca o consecință a controlului muscular dificil de menținut în această poziție. Au existat subiecți la care unghiul Cobb în zona lombară s-a mărit în timpul exercițiului ca o compensare a scăderii unghiului din zona toracală;
- ✓ În cazul exercițiului specific metodei Mézières, corecții s-au înregistrat în cazul curburii principale și mai puțin în cazul curburilor compensatorii. De asemenea, zona toracală pare să se corecteze mai bine în comparație cu cea lombară;
- ✓ În cadrul exercițiului "cilindrul muscular" din metoda Schroth se observă o mai eficientă apropiere a corpurilor vertebrale de linia mediană. În cazul subiecților care prezentau două curburi, ambele au înregistrat o scădere a unghiului Cobb.

Folosirea echipamentului cu senzori accelerometrici face posibilă urmărirea modificărilor unghiurilor Cobb în timpul exercițiilor și astfel se poate realiza, de către terapeut, analiza schimbărilor pe care le suferă segmentele coloanei vertebrale între primul și ultimul senzor poziționat pe tegument. Urmărind modul de evoluție a

unghiurilor Cobb în anumite secvențe ale exercițiilor, terapeutul poate corecta și eficientiza programul de exerciții. Înregistrarea datelor în timpul execuției exercițiului îl ajută pe terapeut să stabilească dacă exercițiul este adecvat pentru pacient și să aleagă cele mai eficiente exerciții pentru fiecare pacient în parte.

## **6.2. Determinări experimentale utilizând camera de termoviziune**

Cercetări recente publicate de Lubkowska A. et al. asupra utilizării termografiei în scolioză au indicat că zonele părților superioare ale corpului (piept, abdomen, spate) sunt mult mai calde față de părțile inferioare (coapsă, gambe) atât la copiii sănătoși, cât și la cei diagnosticați cu scolioză. Studiile au demonstrat că la copiii cu scolioză, zonele corpului cu o asimetrie termică semnificativă a suprafeței corpului sunt în partea superioară a spatelui, pe coapse și gambe, în zona posterioară. Mai mult, dimensiunea asimetriei termice a fost semnificativ corelată cu unghiul de rotație a trunchiului [124]. Autorii au concluzionat că termografia poate fi utilizată ca instrument complementar în screening-ul copiilor cu scolioză [125].

Plecând de la observațiile din literatură de specialitate a fost utilizată 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), în timpul exercițiilor (pentru a observa capacitatea de activare a musculaturii care în urma contracțiilor realizate determină creșterea temperaturii și la suprafața pielii) dar 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.

### **6.2.1. Experiment 1**

Într-un prim experiment realizat cu camera termografică au fost luate în studiu cele trei exerciții analizate inițial cu echipamentul alcătuit din accelerometre. Exercițiile "cilindrul muscular" din metoda Schroth, exercițiul din așezat care aparține metodei Mézières și exercițiul din atârnat din metoda clasică de tratament (descrise în amănunt în capitolul 6.1.3.2. ) au fost realizate de subiecți diagnosticați cu scolioză pentru a se urmări modul de activare a musculaturii spatelui.

Pentru acest experiment s-a achiziționat o imagine termografică inițială (înainte de începerea exercițiilor) pentru a avea imaginea standard, în funcție de care se analizează activitatea musculaturii în timpul exercițiilor prin creșterea temperaturii (Figura 6.20.)



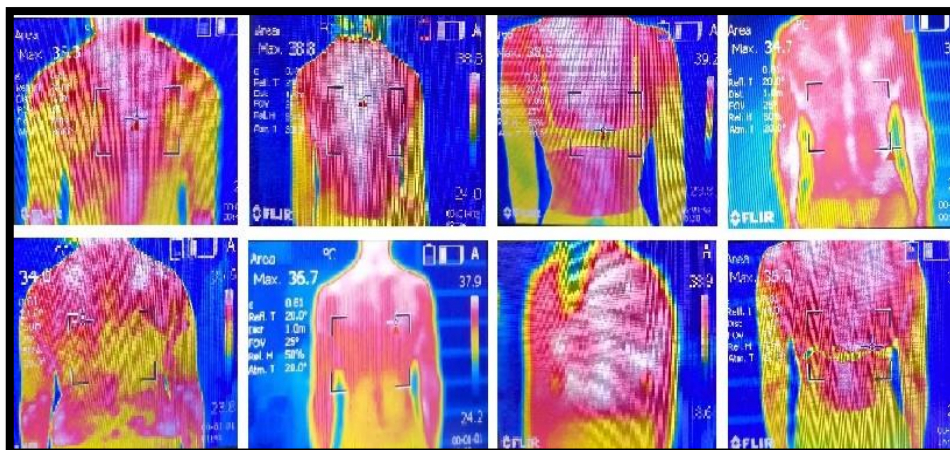
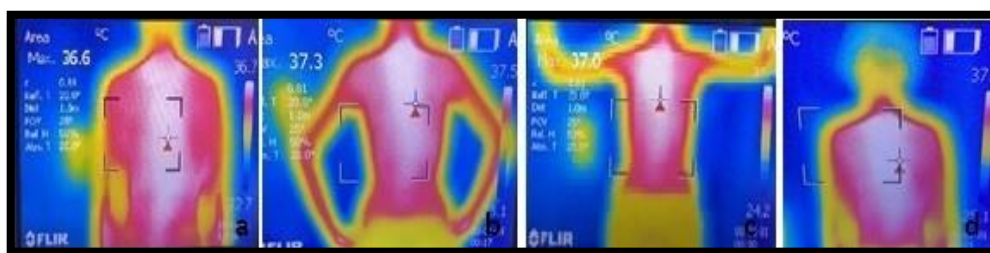


Figura 6.20. Exemple de vizualizare a scoliozei prin intermediul camerei termografice înainte de execuția exercițiilor

După achiziția inițială, s-au executat 3 serii a câte 10 repetări pentru cele 3 exerciții luate spre analiză (câte 30 secunde pauză între serii) iar la finalul fiecărui exercițiu s-a realizat o nouă scanare a temperaturii spatelui subiecților. După execuția unui exercițiu și scanarea spatelui s-a făcut o pauză pentru ca temperatura de la nivelul spatelui să coboare la valoarea înregistrată inițial, în scopul de a putea începe execuția unui nou exercițiu. În timpul efectuării exercițiilor s-au realizat, de asemenea, înregistrări video care ajută terapeutul să interpreteze mai bine datele culese.

Este prezentat în Figura 6.21. un exemplu de achiziții de imagine în cazul unui subiect ce a participat la experiment.



a. b. c. d.

Figura 6.21. Achiziția de imagini termografice a) înainte de începerea exercițiilor, b) după exercițiul cilindru muscular din metoda Schroth, c) după exercițiul din metoda Mezier, d) după exercițiul din atârnat.

În cazul subiectului prezentat în Figura 6.21. se poate observa în imaginea achiziționată inițial (6.21 a) prezența unei scolioze cu convexitatea spre dreapta toraco-lombar. Această imagine inițială am comparat-o ulterior cu cea preluată radiologic, așa cum se poate observa în Figura 6.22.

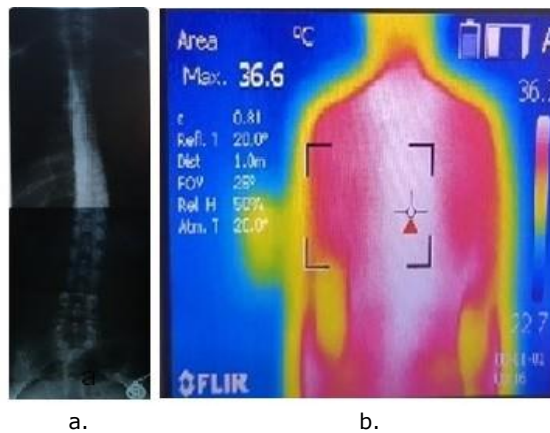


Figura 6.22. a) Imaginea radiologică a scoliozei, b) Imaginea termografică a scoliozei

Comparația realizată mai sus pune în valoare eficiența camerei termografice în evidențierea scoliozelor fără o expunere la radiațiile X. Chiar dacă pe imaginea termografică nu se poate calcula unghiul Cobb, investigația termografică poate fi de un real ajutor în depistarea scoliozelor iar în timp poate fi utilizată ca metodă de observație a evoluției acestei deviații.

În imaginea inițială este vizibilă temperatura crescută a musculaturii paravertebrale de-a lungul coloanei vertebrale iar în zona convexității, musculatura are temperatura mai ridicată așa cum s-a observat și de alți autori în articolele publicate [125, 126].

Efectuarea exercițiilor fizice determină creșterea temperaturii la nivelul spatelui, mai ales în zona mușchilor care participă activ la realizarea mișcărilor. În cazul prezentat în Figura 6.21. temperatura la suprafața tegumentului în dreptul mușchilor activați de mișcare s-a modificat cu mai mult de 1°C datorită efectuării exercițiilor. Înregistrările video au evidențiat inițial o activare la nivelul mușchilor de partea concavă a curburii (în prima serie de exerciții) pentru ca ulterior să crească temperatura și la nivelul musculaturii de pe partea convexă. Pe partea concavă musculatură trebuie să execute o contracție izotonică de tip excentric în timpul exercițiului ceea ce presupune un efort intens, inițial, la acel nivel. Ulterior, în zona convexă, unde se realizează contracție de tip concentric, se înregistrează o creștere asemănătoare a temperaturii.

Exercițiile în care temperatura la suprafața tegumentului a crescut cel mai mult sunt cele din metoda Schroth care au activat tot lanțul muscular de la nivelul mușchiului erector spinal (6.21.b).

Exercițiul din așezat, specific metodei Mézières, a activat, de asemenea, musculatura spatelui dar mai puțin specific, temperatura prezentând o creștere de aproximativ 1°C pe o suprafață mai mare, implicând și musculatura extrinsecă coloanei vertebrale.

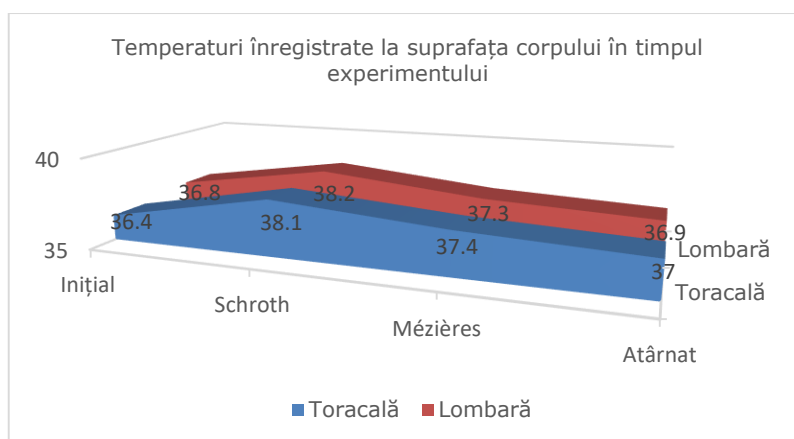


Figura 6.23. Reprezentarea grafică a temperaturilor înregistrate la suprafața corpului în timpul măsurărilor (inițial, după exercițiul din Schroth, după exercițiul din Mezier, după exercițiul din atârnat)

Exercițiul din atârnat a activat cel mai puțin musculatura spatelui și acest lucru doar în zona cervicală și toracală, pe zona lombară neînregistrându-se modificări de temperatură.

În Figura 6.23. sunt reprezentate grafic temperaturile înregistrate la nivelul spatelui subiecțului luat spre analiză, valori consemnate la finalul seriei de exerciții.

Experimentul cu camera termografică a fost repetat ulterior pe un lot mai mare de subiecți cu scolioză. Lotul a fost alcătuit din 30 de participanți, toți diagnosticați cu scolioză ușoară sau medie (Tabelul 6.4.). În cazul tuturor subiecților s-au înregistrat creșteri ale temperaturii tegumentare asemănătoare cu cazul descris mai sus.

Tabelul 6.4. Modificări ale temperaturilor înregistrate cu termograful Flir B200

Subiecți	Temp. Inițială T/L	Temp. după atârnat T/L	Temp. după Mezieres T/L	Temp. după ex Schroth T/L
S1	35,8°T/35,7°L	36,4°T/36,2°L	36,8°T/36,8°L	37,0°T/36,9°L
S2	36,2°T/36,4°L	37,1°T/37,1°L	37,4°T/37,3°L	38,1°T/38,4°L
S3	36,4°T/36,8°L	37,2°T/36,9°L	37,7°T/38,0°L	38,2°T/38,6°L
S4	35,9°T/35,7°L	36,8°T/36,2°L	37,3°T/37,1°L	37,7°T/37,2°L
S5	36,3°T/36,2°L	36,9°T/36,2°L	37,6°T/37,2°L	37,9°T/38,1°L
S6	36,8°T/36,4°L	37,9°T/37,1°L	38,1°T/37,9°L	38,8°T/38,2°L
S7	36,3°T/36,4°L	37,1°T/36,8°L	37,6°T/37,5°L	38,2°T/38,4°L
S8	36,3°T/36,7°L	37,8°T/37,1°L	37,8°T/38,2°L	38,4°T/38,6°L
S9	35,8°T/35,9°L	36,9°T/36,1°L	37,6°T/37,3°L	37,8°T/37,4°L
S10	36,6°T/36,4°L	37,8°T/37,2°L	37,9°T/37,3°L	38,5°T/38,1°L
S11	35,7°T/36,2°L	36,7°T/36,6°L	36,8°T/36,8°L	37,0°T/37,6°L
S12	36,4°T/36,2°L	37,1°T/36,8°L	37,9°T/37,6°L	38,2°T/38,4°L

Subiecți	Temp. Inițială T/L	Temp. după atârnat T/L	Temp. după Mezieres T/L	Temp. după ex Schroth T/L
S13	36,4 <sup>o</sup> T/36,7 <sup>o</sup> L	37,2 <sup>o</sup> T/36,9 <sup>o</sup> L	37,5 <sup>o</sup> T/37,5 <sup>o</sup> L	38,3 <sup>o</sup> T/38,5 <sup>o</sup> L
S14	36,3 <sup>o</sup> T/35,9 <sup>o</sup> L	37,8 <sup>o</sup> T/37,2 <sup>o</sup> L	37,9 <sup>o</sup> T/37,1 <sup>o</sup> L	38,7 <sup>o</sup> T/38,2 <sup>o</sup> L
S15	36,3 <sup>o</sup> T/36,2 <sup>o</sup> L	36,9 <sup>o</sup> T/36,2 <sup>o</sup> L	37,6 <sup>o</sup> T/37,2 <sup>o</sup> L	37,9 <sup>o</sup> T/38,1 <sup>o</sup> L
S16	36,8 <sup>o</sup> T/36,5 <sup>o</sup> L	37,9 <sup>o</sup> T/37,0 <sup>o</sup> L	38,0 <sup>o</sup> T/37,9 <sup>o</sup> L	38,8 <sup>o</sup> T/38,3 <sup>o</sup> L
S17	36,3 <sup>o</sup> T/36,6 <sup>o</sup> L	37,2 <sup>o</sup> T/36,8 <sup>o</sup> L	37,7 <sup>o</sup> T/37,7 <sup>o</sup> L	38,2 <sup>o</sup> T/38,4 <sup>o</sup> L
S18	36,4 <sup>o</sup> T/36,7 <sup>o</sup> L	37,8 <sup>o</sup> T/37,0 <sup>o</sup> L	37,7 <sup>o</sup> T/38,2 <sup>o</sup> L	38,3 <sup>o</sup> T/38,6 <sup>o</sup> L
S19	35,8 <sup>o</sup> T/36,0 <sup>o</sup> L	37,0 <sup>o</sup> T/36,3 <sup>o</sup> L	37,5 <sup>o</sup> T/37,1 <sup>o</sup> L	37,8 <sup>o</sup> T/37,4 <sup>o</sup> L
S20	36,6 <sup>o</sup> T/36,5 <sup>o</sup> L	37,8 <sup>o</sup> T/37,2 <sup>o</sup> L	38,2 <sup>o</sup> T/37,4 <sup>o</sup> L	38,6 <sup>o</sup> T/38,1 <sup>o</sup> L
S21	36,2 <sup>o</sup> T/35,7 <sup>o</sup> L	36,4 <sup>o</sup> T/36,2 <sup>o</sup> L	37,3 <sup>o</sup> T/36,8 <sup>o</sup> L	38,1 <sup>o</sup> T/36,9 <sup>o</sup> L
S22	36,2 <sup>o</sup> T/36,4 <sup>o</sup> L	37,3 <sup>o</sup> T/37,1 <sup>o</sup> L	37,8 <sup>o</sup> T/37,3 <sup>o</sup> L	38,2 <sup>o</sup> T/37,9 <sup>o</sup> L
S23	36,4 <sup>o</sup> T/36,8 <sup>o</sup> L	37,4 <sup>o</sup> T/36,9 <sup>o</sup> L	37,7 <sup>o</sup> T/38,0 <sup>o</sup> L	38,2 <sup>o</sup> T/38,7 <sup>o</sup> L
S24	35,9 <sup>o</sup> T/35,8 <sup>o</sup> L	36,7 <sup>o</sup> T/36,2 <sup>o</sup> L	37,3 <sup>o</sup> T/36,9 <sup>o</sup> L	37,9 <sup>o</sup> T/37,2 <sup>o</sup> L
S25	36,3 <sup>o</sup> T/36,3 <sup>o</sup> L	37,6 <sup>o</sup> T/36,9 <sup>o</sup> L	37,6 <sup>o</sup> T/37,2 <sup>o</sup> L	38,6 <sup>o</sup> T/38,1 <sup>o</sup> L
S26	36,8 <sup>o</sup> T/36,6 <sup>o</sup> L	37,9 <sup>o</sup> T/37,2 <sup>o</sup> L	38,2 <sup>o</sup> T/38,0 <sup>o</sup> L	38,8 <sup>o</sup> T/38,2 <sup>o</sup> L
S27	36,2 <sup>o</sup> T/36,4 <sup>o</sup> L	37,2 <sup>o</sup> T/36,8 <sup>o</sup> L	37,7 <sup>o</sup> T/37,5 <sup>o</sup> L	38,2 <sup>o</sup> T/38,4 <sup>o</sup> L
S28	36,7 <sup>o</sup> T/36,2 <sup>o</sup> L	37,8 <sup>o</sup> T/37,0 <sup>o</sup> L	37,8 <sup>o</sup> T/37,3 <sup>o</sup> L	38,4 <sup>o</sup> T/37,9 <sup>o</sup> L
S29	35,8 <sup>o</sup> T/36,2 <sup>o</sup> L	36,9 <sup>o</sup> T/36,2 <sup>o</sup> L	37,2 <sup>o</sup> T/37,3 <sup>o</sup> L	37,8 <sup>o</sup> T/37,4 <sup>o</sup> L
S30	36,8 <sup>o</sup> T/36,5 <sup>o</sup> L	37,8 <sup>o</sup> T/36,9 <sup>o</sup> L	37,9 <sup>o</sup> T/37,3 <sup>o</sup> L	38,4 <sup>o</sup> T/37,8 <sup>o</sup> L

Datele culese cu termograful FLIR B200 au fost prelucrate în GraphPad Prism 5. pentru a analiza din punct de vedere statistic rezultatele prezentate în Tabelul 5.7. S-au calculat diferențele de temperatură între înregistrarea inițială și cea finală, după fiecare exercițiu în parte. Apoi, separat pentru zona toracală și lombară, s-a aplicat testul ANOVA în care s-au comparat diferențele de temperatură înregistrate între cele 3 exerciții. S-au constatat diferențe înalt semnificative din punct de vedere statistic între cele 3 intervenții, după cum se poate observa în Figurile 6.24 și 6.25, în care  $p \leq 0.0001$  (specificat pe grafic \*\*\*). Exercițiul specific terapiei Schroth este cel care determină cea mai mare creștere de temperatură la nivelul spatelui dintre exercițiile alese pentru analiză. 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.

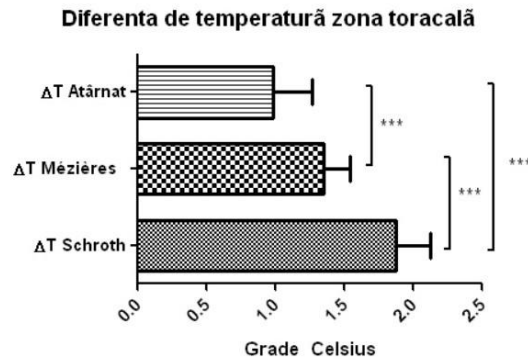


Figura 6.24. Analiza statistică pentru zona toracală

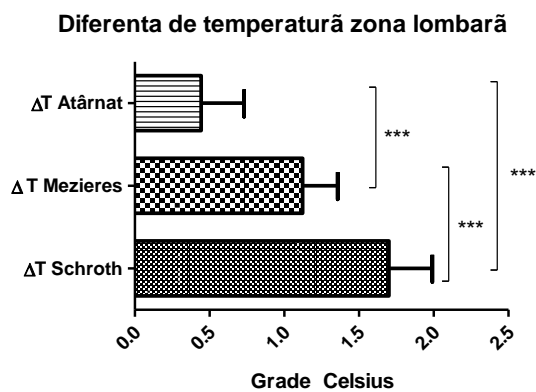


Figura 6.25. Analiza statistică pentru zona lombară

Rezultatele analizei statistice pentru zona toracală sunt prezentate în Tabelul 6.5. Analizând media diferențelor de temperatură între starea inițială și finală după fiecare exercițiu s-a observat că cea mai mare diferență de temperatură este între exercițiul din terapia Schroth și cel din atârnat ( $\approx 1^{\circ}\text{C}$ ), dar trebuie menționată și diferența înregistrată între exercițiul specific Schroth și exercițiul din metoda Mézières de aproximativ jumătate de grad Celsius. Între exercițiul din atârnat și cel specific metodei Mézières media diferențelor nu depășește  $0.4^{\circ}\text{C}$ , exercițiile producând în zona toracală o creștere relativ asemănătoare a temperaturii tegumentului. Prin urmare se poate afirma că pe zona toracală exercițiul specific tehnicii Schroth este cel mai eficient dintre cele analizate.

Tabelul 6.5. Analiză statistică temperaturi la nivelul zonei toracale

Tabel analizat	Zona toracală				
Testul de comparație multiplă al lui Tukey	Diferența medie	q	P semnificativ? < 0.05?	Rezumat	95.00% intervalul de confidență a mediilor
$\Delta T$ Schroth vs $\Delta T$ Mézières	0,53	17	Da	***	0,42 la 0,64
$\Delta T$ Schroth vs Initial - $\Delta T$ Atarnat	0,89	29	Da	***	0,78 la 1,0
$\Delta T$ Mézières vs $\Delta T$ Atarnat	0,36	12	Da	***	0,25 la 0,47

Analiza statistică în zona lombară a evidențiat faptul că diferența de temperatură este semnificativă între exercițiul din metoda Schroth și cel din atârnat așa cum se poate observa în Tabelul 6.6. Și pentru zona lombară exercițiul „cilindrul muscular” este cel care determină cea mai mare creștere de temperatură la nivelul tegumentului spatelui. De asemenea, comparația dintre exercițiul din metoda Mézières și exercițiul din atârnat este în favoarea exercițiului executat din poziția așezat, existând o diferență medie de aproximativ 0.7°C (conform analizei statistice cu testul Tukey din Tabelul 6.6)

Tabelul 6.6. Analiză statistică temperature la nivelul zonei lombare

Tabel analizat	zona lombara				
Testul de comparație multiplă al lui Tukey	Diferența medie.	q	P semnificativ? < 0.05?	Rezumat	95.00% intervalul de confidență a mediilor
$\Delta T$ Schroth vs $\Delta T$ Mézières	0,58	13	Da	***	0,42 la 0,73
$\Delta T$ Schroth vs Initial - $\Delta T$ Atarnat	1,3	28	Da	***	1,1 la 1,4
$\Delta T$ Mézières vs $\Delta T$ Atarnat	0,68	15	Da	***	0,53 la 0,83

Analiza tuturor celor 30 de cazuri a evidențiat că exercițiile evaluate sunt eficiente în cazul scoliozelor. Exercițiul din metoda Schroth înregistrează cele mai mari creșteri de temperatură la nivelul convexității toracale, dar și lombare. Astfel, se poate afirma că acest tip de exercițiu este cel mai eficient din cele 3 luate spre analiză. Pentru exercițiul din metoda Mézières s-au consemnat creșteri mai mari ale temperaturii pe zonele de convexitate toracală și mai puțin pe zona lombară. De asemenea, pentru exercițiul din atârnat, activarea cea mai intensă, prin creșteri de temperatură la suprafața tegumentului, s-au înregistrat cu precădere la nivelul zonei toracale.

Preluarea de imagini atât în timpul efectuării exercițiilor cât și la finalul execuției acestora a pus în valoare următoarele elemente:

- ✓ camera de termoviziune aduce informații în timp real asupra calității contracției musculare;
- ✓ în timpul efectuării exercițiilor se înregistrează o creștere a temperaturii în zonele implicate în mișcare atât în zonele de convexitate cât și în zonele de concavitate;
- ✓ inițial se observă o creștere a temperaturii în zona corespunzătoare musculaturii din concavitate pentru ca apoi să crească temperatura în musculatura din zona de convexitate, ceea ce se traduce prin necesitatea unui număr crescut de repetări pentru fiecare exercițiu efectuat, aceasta pentru a crește eficiența exercițiilor recomandate;
- ✓ 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;
- ✓ comparații între exerciții se pot realiza doar atunci când există pauze mai mari între exerciții deoarece corpul supraîncălzit transpiră prin activarea termoreglării iar temperatura indicată de cameră va scădea în consecință;
- ✓ se pot realiza comparații între imaginile achiziționate luând în discuție nu doar modificarea temperaturii ci și uniformizarea acțiunii musculaturii din zonele luate în observație.

### 6.2.2. Experiment 2

Pentru a verifica rezultatele obținute atât în cazul utilizării camerei termografice Flir B200 cât și în cazul utilizării senzorilor accelerometrici s-a efectuat un experiment în care cele 3 exerciții descrise la capitolul 6.1.3.2 au fost executate fiind prelevate în același timp atât informații de la accelerometre cât și de la camera de termoviziune. Inițial de la accelerometre s-au cules informațiile pentru a obține prin calcul matematic unghiurile Cobb în poziția de ortostatism necontrolat (poziția pe care o are subiectul în mod natural) iar cu camera termografică s-a preluat imaginea spatelui înregistrându-se temperatura la nivelul spatelui. Ulterior, în timpul efectuării celor 3 exerciții, s-au colectat simultan, informații de la accelerometre și de la camera termografică (atât imagini statice cât și imagini în dinamică). Modalitatea de lucru este prezentată în Figura 6.26. de mai jos.



Figura 6. 26. Poziționarea senzorilor și a camerei termografice în timpul efectuării experimentului

Datele culese de la accelerometre au permis calcularea unghiurilor Cobb în timpul exercițiilor, valori care se regăsesc în Tabelul 6.7 prezentat în continuare.

Tabelul 6.7. Valorile Unghiurilor Cobb prezentate comparativ

Subiect lua în studiu	Valoarea unghiului Cobb pe RX	Valoarea unghiului Cobb în poziția de ortostatism	Valoarea unghiului Cobb în exercițiul din metoda Mézières	Valoarea unghiului Cobb în exercițiul Schroth ("cilindrul muscular")	Valoarea unghiului Cobb în exercițiul din atârnat la scara fixă
Subiect 3 scolioză ușoară	13T-L	12,36°T-L	10,24°T-L	9,43°T-L	10,92°T-L

Temperaturile înregistrate la suprafața tegumentului în zona de vârf a scoliozei (zona toraco-lombară), la finalul exercițiilor luate în analiză, sunt prezentate în Tabelul 6.8 de mai jos.

Tabelul 6.8. Modificarea temperaturii la suprafața corpului inițial și după fiecare exercițiu efectuat

Temp. Inițială T/L	Temp. după ex Mézières T/L	Temp. după ex Schroth T/L	Temp. După ex atârnat T/L
36,7°T-L	38,2°T-L	38,6°T-L	37,2°T-L

Făcând analogie între cele două rezultate obținute, 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 zona 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 corpilor vertebrali, prin scăderea unghiului Cobb.

### 6.2.3. Experiment 3

Experimentele anterioare au pus în evidență utilitatea camerei termografice în evaluarea eficienței exercițiilor fizice efectuate în cadrul programelor de recuperare. Deoarece echipamentul cu senzori accelerometrici a permis analiza exercițiilor din pozițiile stând, așezat și atârnat (cele în care accelerația gravitațională acționează perpendicular sau maxim sub un unghi de 50° asupra coloanei vertebrale) s-a dorit în continuare analiza unor exerciții care se efectuează din alte poziții precum culcat sau pe genunchi și derivatele acestora, având în vedere că sunt extrem de utilizate în cadrul programelor de kinetoterapie. Astfel, utilizarea camerei termografice a permis studierea unei game mai largi de exerciții care aparțin diferitelor metode de recuperare.

#### Exerciții care aparțin metodei Schroth

Metoda Schroth conține exerciții din pozițiile de stând, așezat, pe genunchi și decubit (dorsal, lateral și ventral). Exercițiul "cilindrul muscular" din poziția stând a fost deja analizat în capitolele anterioare fiind unul din cele mai utilizate din această metodă. În această cercetare am dorit analiza exercițiilor din decubit lateral și ventral, deoarece cele din decubit dorsal pun în contact tegumentul cu solul ceea ce modifică complet temperatura țesuturilor.

Descrierea exercițiilor:

- Decubit lateral pe partea concavității toracale, cu saci corectivi sub umărul ce se sprijină pe sol și sub bazin. Se menține membrul inferior de deasupra în ușoară abducție, mâna de partea convexității toracale este poziționată pe sol sau pe un scaun, iar mâna de partea concavității toracale este întinsă oblic sus. Se realizează corecțiile în plan sagital, frontal, transversal (derotări). În timpul inspirului se execută o alungire a coloanei vertebrale iar pe expir, specific metodei, se fixează prin contracții puternice izometrice corecțiile (Figura 6.27. a);
- Decubit lateral de partea concavității toracale, cu saci corectivi sub umărul ce se sprijină pe sol și sub zona lombară. Genunchiul membrului inferior de deasupra tensionează o bandă elastică și apasă în același timp într-un suport aflat în fața bazinului, mâna de pe partea convexității toracale este poziționată pe sol sau pe un scaun, iar mâna de pe partea concavității toracale este întinsă oblic sus. Se realizează corecțiile în plan sagital, frontal și transversal (derotări). În timpul inspirului se execută o alungire a coloanei vertebrale iar, pe expir specific metodei, se fixează prin contracții puternice izometrice corecțiile (Figura 6.27.b);
- Decubit ventral cu trunchiul susținut pe mingea de gimnastică tip Bobath, cu saci corectivi poziționați pe zonele de concavitate, mâinile pot fi poziționate pe minge sau pe scară fixă. Pe inspir se realizează elongații ale coloanei și corecțiile în plan sagital, frontal și transversal (derotări) iar pe expir se fixează prin contracții izometrice corecțiile (Figura 6.27. c);

- Decubit ventral cu bazinul susținut pe un scăunel, saci și mingi corective sunt poziționate pe zonele de concavitate, mâinile pot fi poziționate pe sol sau pe bastoane. Pe inspir se realizează elongații ale coloanei și corecțiile în plan sagital, frontal și transversal (derotări) iar pe expir se fixează prin contracții izometrice corecțiile (Figura 6.27.d).

Exercițiile descrise mai sus sunt reprezentate în Figura 6.27. pentru o mai bună înțelegere a lor.



Figura 6.27. Exercițiilor din metoda Schroth luate spre analiză

Experimentul s-a realizat în aceleași condiții descrise la începutul capitolului 6.2.

Evaluările s-au realizat prin achiziția de imagini termografice înainte începerii exercițiilor (în ortostatism) și la finalul celor 3 serii de repetări, pentru fiecare exercițiu în parte. Un exemplu de achiziție de imagine este prezentat mai jos, în cazul unui subiect cu scolioză lombară sinistroconvexă cu compensare toracală ușoară dextroconvexă (Figura 6.28.)

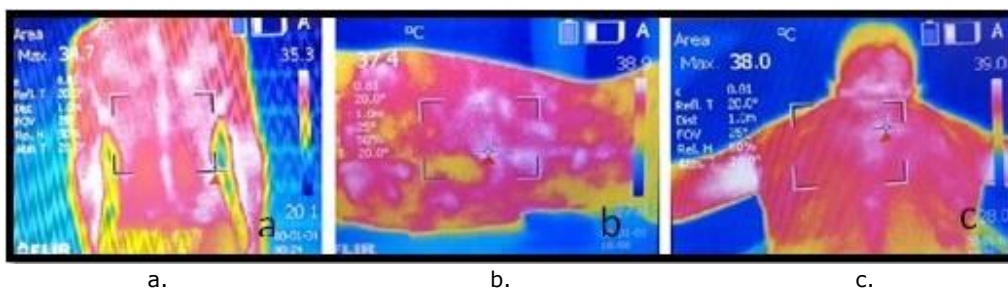


Figura 6.28. Evaluarea inițială în ortostatism (a), evaluarea exercițiului din decubit ventral (b), evaluarea exercițiului din decubit lateral (c)

Se poate observa în imaginile achiziționate (Figura 6.28.), o corecție mai bună a curburii coloanei vertebrale în plan frontal din poziția de decubit lateral. În aceeași poziție s-a înregistrat și o mai mare creștere a temperaturii la suprafața tegumentului în zona musculaturii care a participat la realizarea exercițiului.

În cazul prezentat mai sus pe parcursul repetării mișcărilor, temperatura pe suprafața spatelui a crescut considerabil față de starea inițială. Valorile obținute se pot vizualiza în graficul din Figura 6.29, de mai jos.

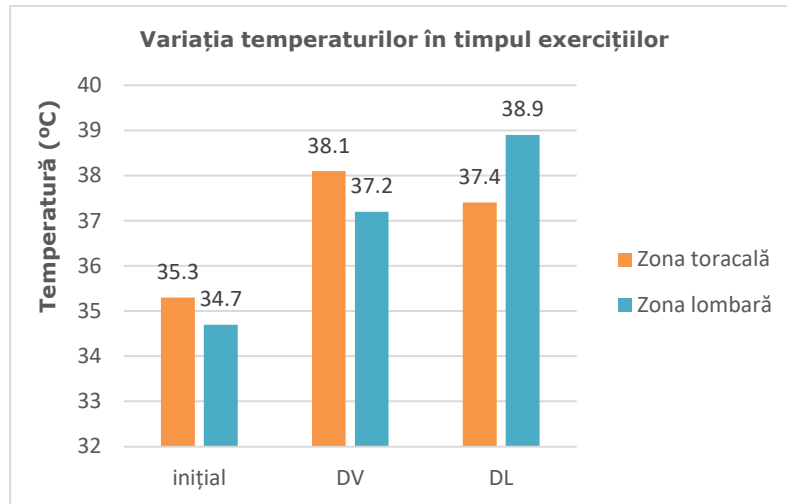


Figura 6.29. Reprezentarea grafică a evoluției temperaturilor înregistrate la nivelul spatelui.

Pentru cazul prezentat, fiind vorba despre o scolioză lombară cu compensare toracală, se observă o creștere mai mare a temperaturii în zona în care unghiul Cobb este accentuat.

Măsurările cu termograful FLIR B200 s-au realizat pe un lot de 14 subiecți. În cazul celorlalți subiecți testați s-a observat aceeași tendință, de creștere a temperaturii mai pronunțat în zona în care unghiul Cobb are valoarea cea mai mare (Figura 6.30.).

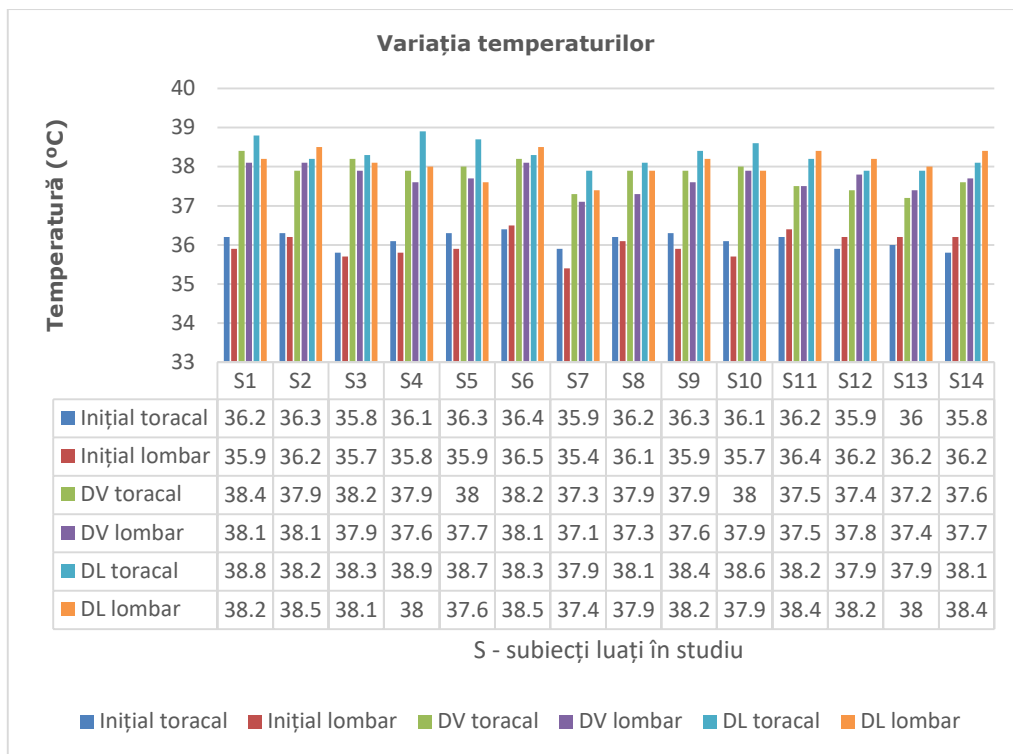


Figura 6.30. Temperaturi înregistrate la nivelul spatelui subiecților evaluați

Observând datele culese putem concluziona că exercițiile din metoda Schroth activează musculatura spatelui, temperaturile crescând în zona de convexitate cu aproximativ 2°C.

Poziția din care se efectuează exercițiul este foarte importantă în eficientizarea acestuia. Se pare că, în pozițiile de decubit lateral sunt mai greu de realizat și menținut corecțiile în plan sagital și transversal, iar în cazul exercițiilor din decubit ventral sunt mai dificil de menținut corecțiile în plan frontal. Aceste observații sunt extrem de utile în cazul alcătuirii unui program de kinetoterapie deoarece terapeutul trebuie să țină seama de particularitățile fiecărei scolioze, de unghiul de înclinare în plan frontal, de gradul de rotație vertebrală în plan transversal dar și de exagerarea sau ștergerea curburilor în plan sagital. Desigur, alegerea corecțiilor dar și indicațiile date de terapeut au un rol important în eficientizarea exercițiilor terapeutice.

### Exerciții care aparțin metodei clasice de tratament

În România în cabinetele de recuperare sunt cel mai des utilizate exercițiile care au la bază pe lângă acțiunea mușchilor proprii coloanei vertebrale și acțiunea mușchilor extrinseci, adică planurile 1 și 2 musculare ale spatelui. Am luat în analiză exerciții din decubit lateral și din decubit ventral pentru a urmări modificările temperaturilor în urma execuției mișcărilor corective.

Descrierea exercițiilor din metoda clasică de tratament:

- în cazul unei scolioze cu unghi Cobb toracal principal: decubit lateral de partea concavității toracale, cu membrul superior de pe suprafața solului

în continuarea trunchiului, membrul superior de pe partea convexității în abducție la  $90^\circ$  ținând în mână o bandă elastică. Se realizează o adducție a brațului prin tensionarea benzii pe expirul profund (figura 6.31. a);

- în cazul unei scolioze cu unghi Cobb lombar principal: decubit lateral de partea concavității lombare, cu membrul inferior de pe sol întins în continuarea trunchiului. Membrul inferior de pe partea convexității realizează o abducție pe expir profund (figura 6.31. b);
- în cazul unei scolioze cu unghi Cobb toracal principal: decubit ventral cu brațele ridicate în continuarea trunchiului. Se execută o deplasare a brațelor spre convexitate în timp ce se inspiră profund. Exercițiul face parte din metoda Cotrel (figura 6.31.c);
- în cazul unei scolioze cu unghi Cobb lombar principal: decubit ventral cu membrele inferioare extinse, sprijinite cu vârful picioarelor pe sol. Se execută o mișcare de deplasare a membrelor inferioare de pe partea convexității (prin abducția membrului de pe partea convexității și adducția membrului de pe partea concavității). Exercițiul face parte din metoda Cotrel (figura 6.31. d).

Exercițiile descrise mai sus sunt reprezentate în imaginile din Figura 6.31.



Figura 6.31. Exercițiile din gimnastica clasică luate în analiză

Și în cazul acestui experiment s-a păstrat același protocol prezentat la începutul capitolului 6.2.

Achiziția de imagini termografice s-a realizat înaintea începerii exercițiilor (în ortostatism) și la finalul fiecărui exercițiu după cele 3 serii de repetări (în poziția în care s-a realizat exercițiul).

#### **Deviațiile lombare în plan frontal**

Din lotul de subiecți care a participat la experiment am ales spre exemplificare un caz de scolioză toraco-lombară sinistroconvexă. În Figura 6.32.a) se observă inițial distribuția inegală a temperaturii pe spatele pacientului, temperatura fiind mai ridicată în zona lombară în care este situată și vertebra vârf a curburii. Temperatura inițială

În zona lombară stânga este de  $36^{\circ}$  iar pe măsură ce subiectul execută repetat mișcările cerute se remarcă o creștere a temperaturii la nivelul spatelui, diferită în funcție de intrarea în acțiune a musculaturii. În cazul exercițiilor care se adresează zonei lombare s-a observat o creștere a temperaturii mai accentuat în zona de concavitate unde se execută contracția excentrică a musculaturii (în principal în cazul exercițiului din metoda Cotrel, în care ambele membrele inferioare realizează o deplasare spre convexitate). Contractia concentrică care se realizează de către musculatură din zona convexității nu a înregistrat o creștere a temperaturii în urma primelor repetări (musculatura de pe partea convexității este în mod normal cu temperatură mai mare în cazul scoliozelor așa cum s-a observat și în cercetările din literatura de specialitate). Aceste aspecte au fost observate la toți subiecții care au fost testați și prezintă o deviație scolioțică în zona lombară.

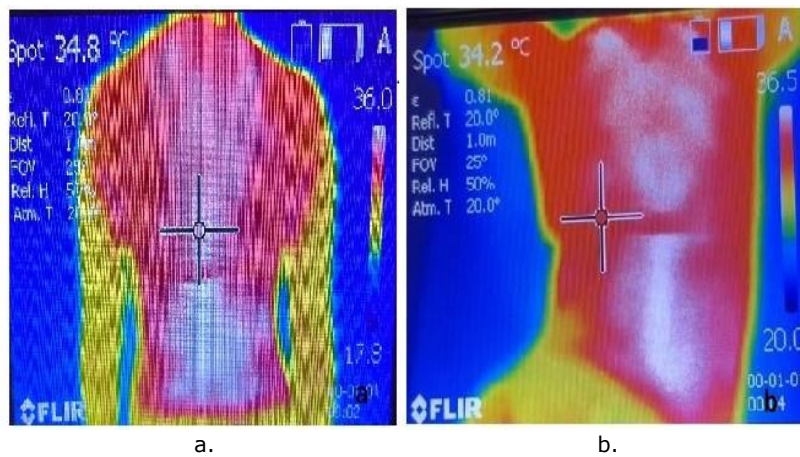


Figura 6.32. a) Evaluarea inițială, b) Evaluare după exercițiul Cotrel cu membrele inferioare

Execuția exercițiului din decubit lateral care presupune o contracție concentrică mai puternică a musculaturii de pe partea convexității dar și necesitatea păstrării stabilității în această poziție, a evidențiat o creștere mai mare a temperaturii în zona vizată, așa cum se poate observa în Figura 6.33 și Figura 6.34.

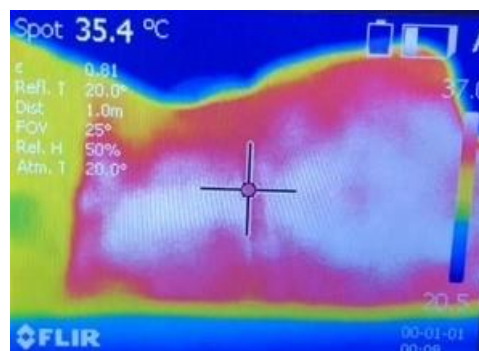


Figura 6. 33. Evaluarea exercițiului din decubit lateral cu abducția membrului inferior de partea convexă.

Modul în care au variat temperaturile în zona lombară convexă și concavă, în timpul efectuării celor 2 exerciții este prezentat mai jos în Figura 6.34.

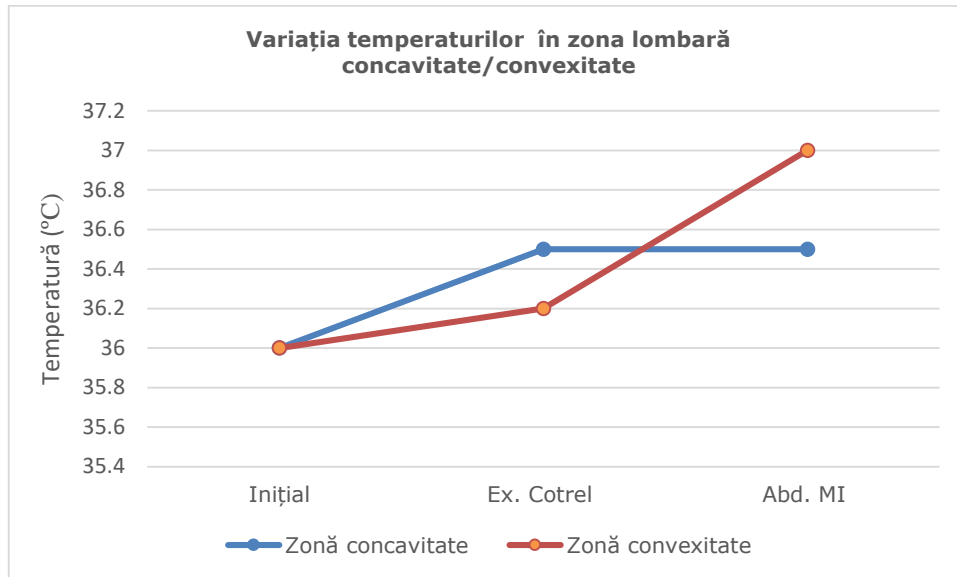


Figura 6.34.Reprezentarea grafică a modificării temperaturilor la suprafața spatelui pe zonele de concavitate și convexitate pentru cazul exemplificat

Întregul studiu s-a realizat pe un lot de 7 subiecți care au fost diagnosticați cu scolioză lombară sau toracolombară și cărora li se putea indica să execute exercițiile luate în studiu. Valorile înregistrate de camera termografică sunt prezentate în Figura 6.35. Au fost luate în discuție temperaturile afișate pe zona de convexitate și pe zona de concavitate lombară inițial, după exercițiul Cotrel și după exercițiul de abducție a membrului inferior.

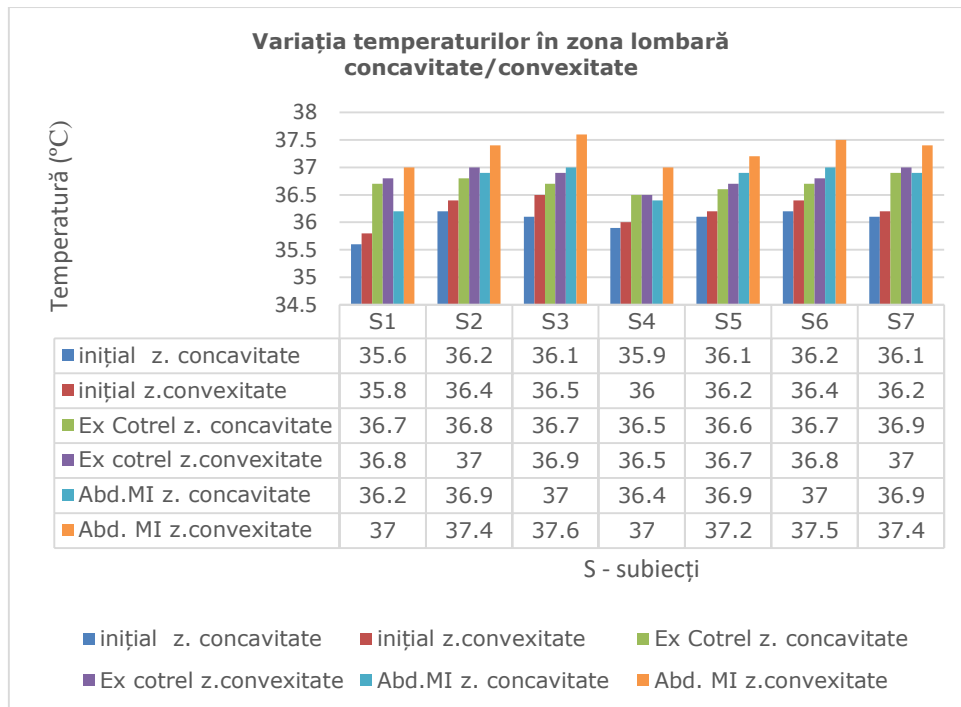


Figura 6.35. Temperaturi înregistrate în zona lombară la cei 7 subiecți luați în studiu

Experimentul a urmărit reliefarea diferenței de temperatură la activarea musculaturii în zona lombară. În funcție de poziția de start utilizată se poate activa mai mult musculatura de pe partea concavă sau convexă. Pentru exercițiul din metoda Cotrel s-a evidențiat o activare a zonei concave la începutul repetărilor, prin contracția excentrică, care determină o creștere mai mare a temperaturii la suprafața spatelui pentru ca ulterior, după minim 2 serii de repetări să crească temperatura și la suprafața spatelui deasupra musculaturii care realizează contracție concentrică. În schimb, în cazul exercițiului din decubit lateral, temperatura la nivelul vârfului curburii a înregistrat o creștere de la primele repetări, musculatura de pe partea concavă nefiind solicitată excesiv.

Prin urmare, în urma experimentului, se poate concluziona că în cazul scoliozelor lombare sunt mai eficiente exercițiile care se realizează din poziții care solicită musculatura de pe partea convexă prin scurtare și este nevoie de un număr mai mare de repetări pentru un randament mai bun.

#### Deviațiile în plan frontal toracal

Exercițiile care corectează deviațiile în plan frontal din zona toracală au fost evaluate la subiecți cu scolioză toracală. În Figura 6.36. este prezentat un astfel de caz, în care vertebra vârf este situată la nivelul T10, fiind o scolioză lungă toraco-lombară dextroconvexă. Exercițiile executate sunt cele de adducție a brațului de pe partea convexă (contracție concentrică de pe partea convexității) și cel din metoda Cotrel cu deplasarea brațelor spre convexitate.



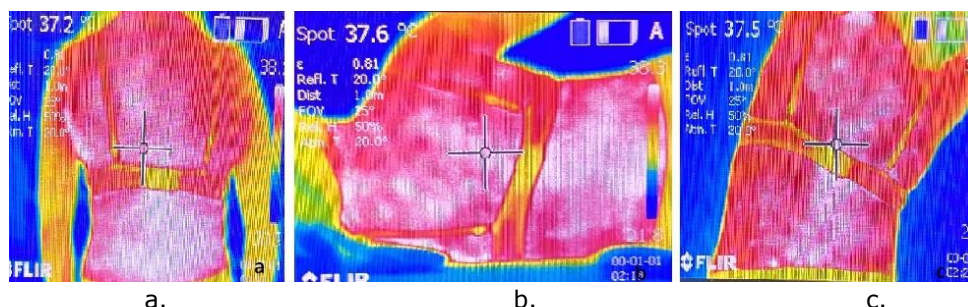


Figura 6.36. a) Evaluare inițială, b) Evaluare exercițiu din decubit lateral cu adducția brațului de partea convexității, c) Evaluare exercițiu din decubit ventral cu deplasarea brațelor de partea convexității

Modificarea temperaturilor pe spatele subiectului prezentat mai sus este prezentată în graficul din Figura 6.37.

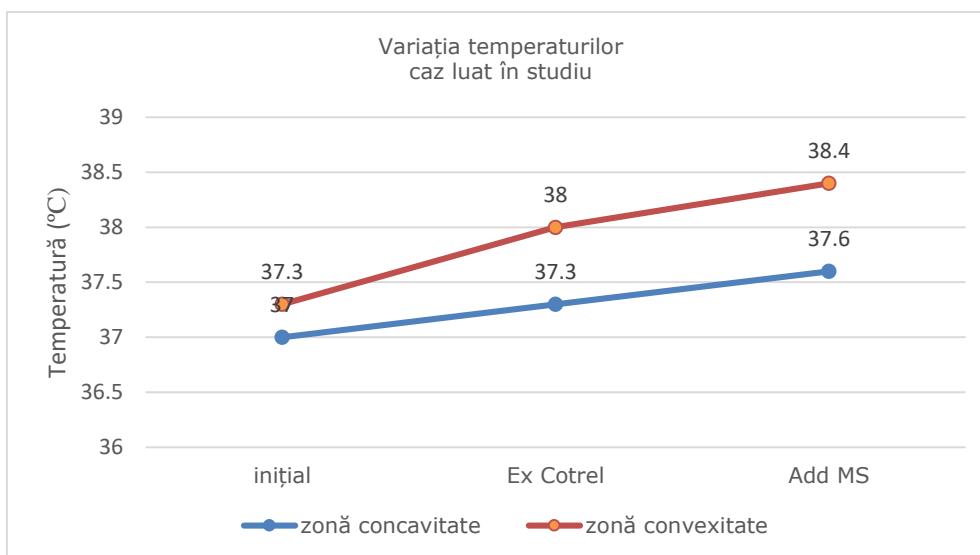


Figura 6.37. Reprezentarea grafică a modificărilor temperaturilor de la suprafața spatelui în zona toracală, de partea concavă și de partea convexă a curburii

S-a remarcat în timpul executării exercițiului din decubit lateral o creștere treptată a temperaturii la suprafața spatelui de pe partea convexității toracale dar și lombare (Figura 6.36. b) și, de asemenea, o ușoară creștere a temperaturii în zona toracal superioară de pe partea opusă. Poziția de decubit lateral solicită din partea executantului o atenție deosebită pentru păstrarea echilibrului, de aici rezultând și activarea din alte zone ale spatelui.

În cazul exercițiului din metoda Cotrel s-a evidențiat creșterea temperaturii în zona toraco-lombară de partea convexității încă de la primele mișcări executate, efect care a rămas valabil până la finalul exercițiului așa cum se observă în Figura 6.36.c și graficul din Figura 6.38.

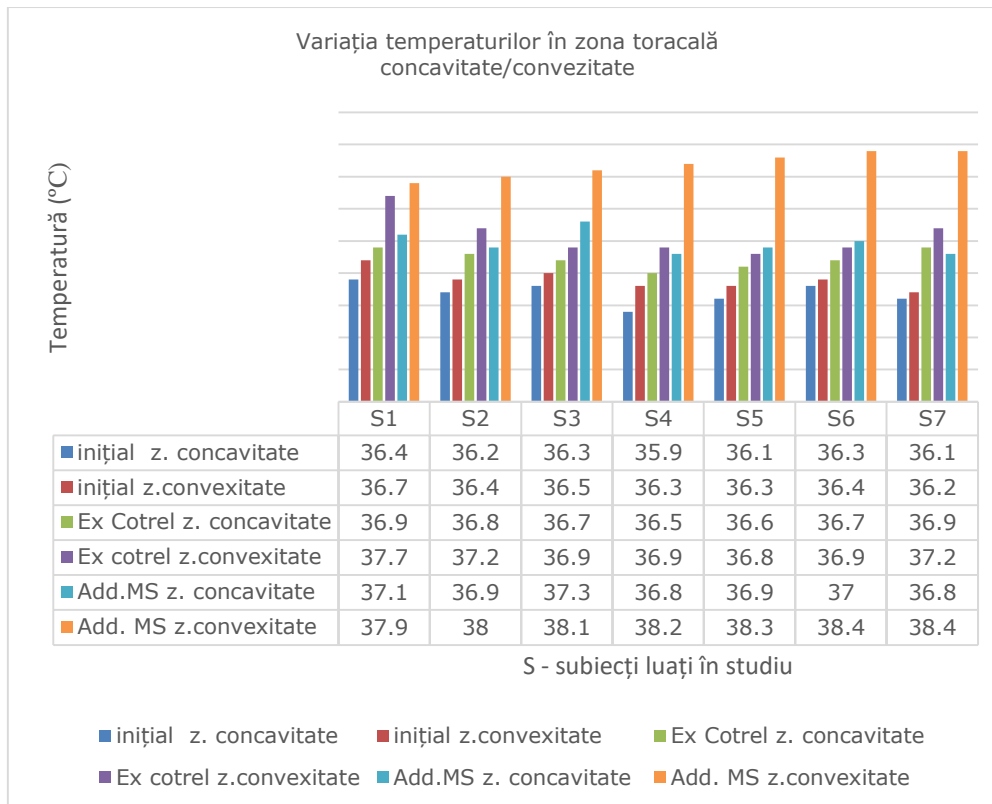


Figura 6.38. Temperaturi înregistrate în zona toracală la cei 7 subiecți luați în studiu

Experimentul realizat cu camera de termoviziune în cazul celor 7 persoane cu scolioză toracală a pus în evidență o activitate eficientă a musculaturii de pe partea convexității încă de la primele repetări pentru ambele exerciții luate în studiu.

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;
- ✓ este foarte importantă poziția din care se execută exercițiul corectiv, deoarece poate activa mai mult sau mai puțin eficient musculatura spatelui;
- ✓ 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;
- ✓ urmărind modalitatea de creștere a temperaturii în timpul mișcărilor executate din decubit ventral, s-a constatat că acestea sunt mai puțin eficiente pentru corecția deviației în plan frontal, în cazul exercițiilor din

- metoda Schroth, deoarece subiecții păstrează mai ușor corecțiile în plan sagital dar nu reușesc o aliniere în plan frontal la fel de eficientă;
- ✓ exercițiile din decubit ventral din metoda Cotrel sunt eficiente mai ales în cazul scoliozelor lungi toracale deoarece activarea musculaturii se realizează pe zona toracală de mijloc, inferioară și lombară;
  - ✓ 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;
  - ✓ este importantă adaptarea exercițiilor la tipul de scolioză, dar eficiența exercițiului este dată și de capacitatea subiecților de a executa fiecare corecție cerută de terapeut.

#### 6.2.4. Experiment 4

Plecând de la observațiile prezente în literatura de specialitate legate de temperaturi crescute la nivelul tegumentului spatelui la subiecții cu scolioză, am încercat să observăm în acest studiu modul în care acționează mușchii spatelui atunci când mișcările sunt efectuate simetric. În acest scop, am folosit camera termografică Flir B200 pentru a înregistra acțiunea mușchilor spatelui la două grupe de copii, unii cu scolioză și alții fără deviații ale coloanei vertebrale. În acest mod am urmărit să răspundem la o serie de întrebări despre cum funcționează mușchii spatelui în cazul copiilor cu scolioză și dacă pentru aceste persoane este indicat să se efectueze exerciții simetrice în programele de recuperare sau doar exerciții specifice scoliozei din metodele deja studiate. Experimentul a vizat analiza calitativă a contracției musculare și nu cantitativă. Astfel, în această cercetare nu am apreciat creșterea temperaturii la suprafața tegumentului spatelui, ci s-a urmărit cât de simetric este distribuită temperatura pe suprafața spatelui și implicit simetria activării mușchilor în timpul exercițiilor. De asemenea, ne-am propus să aflăm dacă prezența unei abateri în plan frontal influențează executarea exercițiilor [127].

Studiul a analizat acțiunea 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.

Subiecții 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 (abateri în plan frontal sau asimetriile ale centurii scapulare și/sau pelvine). În lotul de studiu au intrat subiecți diagnosticați cu scolioză ușoară fără indicație de corset și fără alte boli asociate.

Protocolul a fost conceput astfel: s-a realizat o primă achiziție după ajustarea corpului la temperatura ambiantă din camera în care a avut loc experimentul. Fiecare subiect a efectuat 3 exerciții, a câte 20 de repetări. Cele 3 exerciții alese pentru evaluare sunt recomandate în general de instructori sau terapeuți pentru a tonifia musculatura spatelui. Scopul acestui studiu a fost observarea influenței mișcărilor simetrice asupra mușchilor spatelui și implicit, asupra posturii corporale a subiecților. După fiecare exercițiu s-a luat o pauză de 1 minut, iar în acest timp s-a preluat o nouă imagine a spatelui. În experiment am urmărit activarea mușchilor spatelui în timpul exercițiilor dinamice efectuate din poziția de descărcare a coloanei vertebrale (poziție de patrupedie și decubit ventral) atât în lanț cinematic deschis, cât și în lanț cinematic închis.

Descrierea exercițiilor:

- exercițiul 1- din poziția de patrupedie s-a efectuat o mișcare de arcuire a coloanei în flexie (cifozare) și extensie (lordozare). Exercițiul este cunoscut sub denumirea "pisică și cămilă"

- exercițiul 2- din poziția de patrupedie se execută ridicarea brațului și membrului inferior opus, paralel cu podeaua, alternativ.

- exercițiul 3 - din decubit ventral, se execută ridicarea de pe podea a brațului și membrului inferior pe partea opusă, alternativ. Exercițiul este cunoscut sub denumirea de "superman".

Exercițiile descrise mai sus sunt prezentate în imaginile din Figura 6.39.



Figura 6.39. 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. Figurile de mai jos prezintă 3 cazuri diferite de subiecți fără scolioză (Figurile 6.40, 6.41, 6.42).

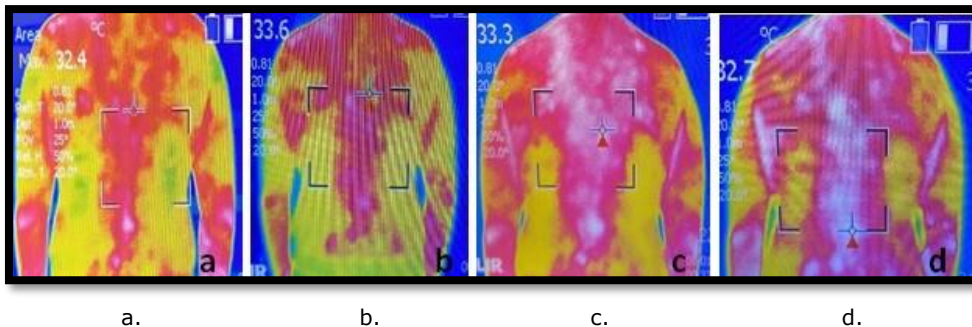
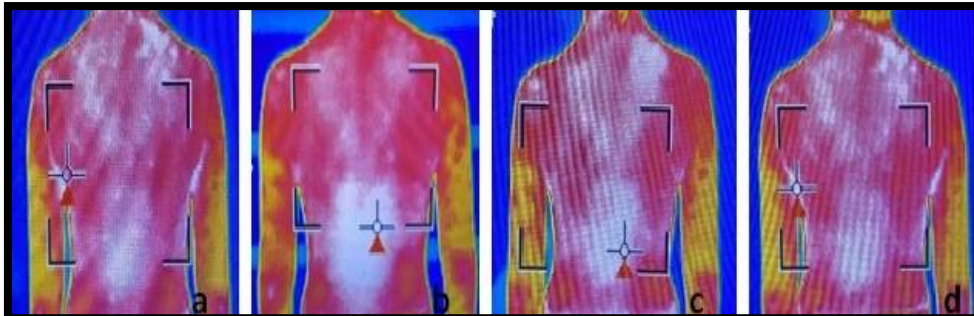
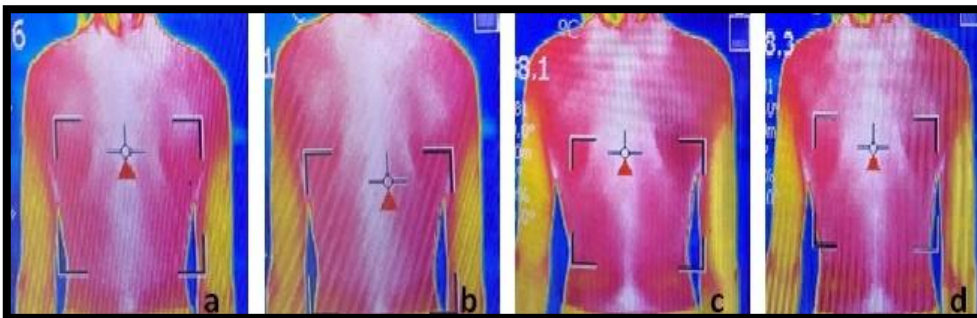


Figura 6.40. Subiectul 1 fără scolioză a) imagine achiziționată inițial, b) imagine achiziționată la sfârșitul exercițiului 1, c) imagine achiziționată la sfârșitul exercițiului 2, d) imagine achiziționată la sfârșitul exercițiului 3



a. b. c. d.  
 Figura 6.41. Subiectul 2 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



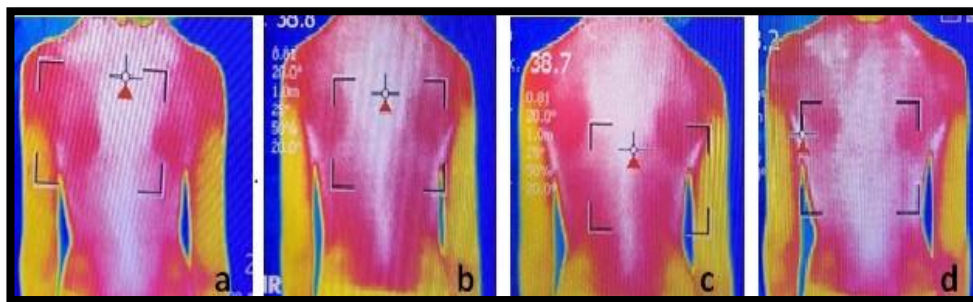
a. b. c. d.  
 Figura 6.42. Subiectul 3 fără scolioză a) imagine achiziționată inițial, b) imagine achiziționată la sfârșitul exercițiului 1, c) imagine achiziționată la sfârșitul exercițiului 2, d) imagine achiziționată la sfârșitul exercițiului 3

La prima captare de imagine s-a observat o cromatică difuză la suprafața spatelui în cazul tuturor subiecților din grupul de control. Pe măsură ce mușchii au fost angajați în efectuarea contracțiilor musculare (exercițiilor), temperatura de la nivelul spatelui a devenit mai ușor de diferențiat imediat deasupra grupelor musculare implicate și astfel activarea musculară s-a putut observa mai ușor.

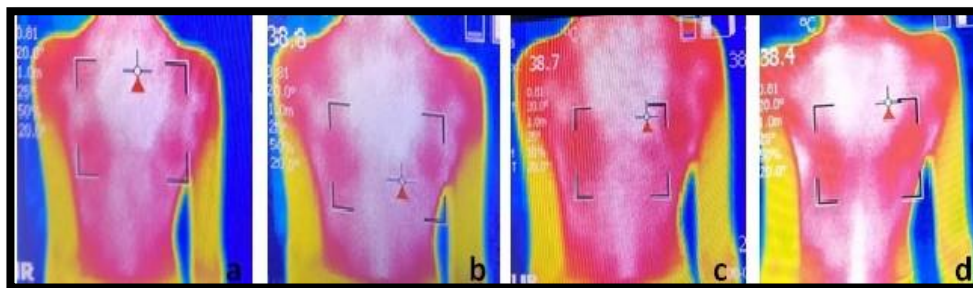
În cazul subiecților din lotul de control, s-a constatat că mușchii de pe ambele părți ale spatelui, dreapta și stânga, funcționează armonios, echilibrat, în timpul celor 3 exerciții studiate. Specific pentru exercițiul 1, "pisica", s-a observat că musculatura la nivelul căreia crește mai mult temperatura în urma contracțiilor musculare este în zona lombară, exercițiul având o acțiune mai mică asupra mușchilor din partea superioară a spatelui. În cazul exercițiului 2 s-a evidențiat o implicare în principal a mușchilor din partea superioară a trunchiului (prin ridicarea brațelor), chiar dacă în timpul exercițiului se realizează și o mișcare de extensie a membrilor inferioare (se pare că acțiunea mușchilor din zona lombară este mai puțin eficientă în cadrul acestui exercițiu). De remarcat este faptul că, în cazul subiecților cu zone de temperatură ușor crescute în mușchii trapezi (zonele de contractură), aceste zone au devenit mai active în timpul exercițiului (cum se poate observa la subiectul 2 fără scolioză prezentat în figura 6.41. c). Analiza imaginilor preluate în urma executării exercițiului

3 din poziție de decubit ventral, a evidențiat o activare a mușchilor de la nivelul întregului spatelui (în principal deasupra mușchii trapez și erector spinal). În cazul tuturor subiecților din acest lot simetria cromaticii de pe partea dreaptă și de pe partea stângă a coloanei vertebrale a demonstrat o acțiune simetrică a musculaturii întregului trunchi.

În cazul subiecților din lotul de studiu, prima imagine preluată a evidențiat o asimetrie cromatică de pe partea dreaptă și de pe partea stângă a spatelui datorită temperaturilor diferite de la nivelul musculaturii. 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 exemplele din imaginile de mai jos (Figurile 6.43., 6.44, 6.45).



a. b. c. d.  
 Figura 6.43. Subiectul 1 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



a. b. c. d.  
 Figura 6.44. Subiectul 2 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

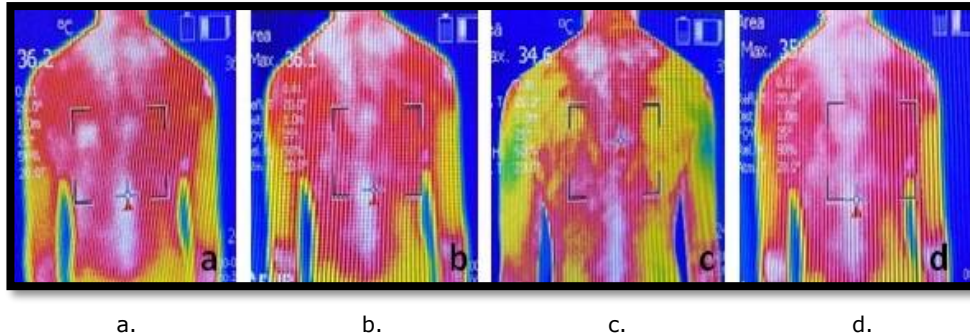
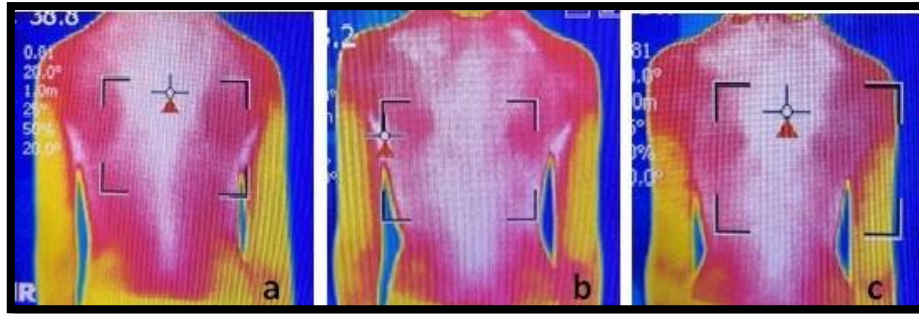


Figura 6.45. Subiectul 3 cu scolioză a) imagine achiziționată inițial, b) imagine achiziționată la sfârșitul exercițiului 1, c) imagine achiziționată la sfârșitul exercițiului 2, d) imagine achiziționată la sfârșitul exercițiului 3

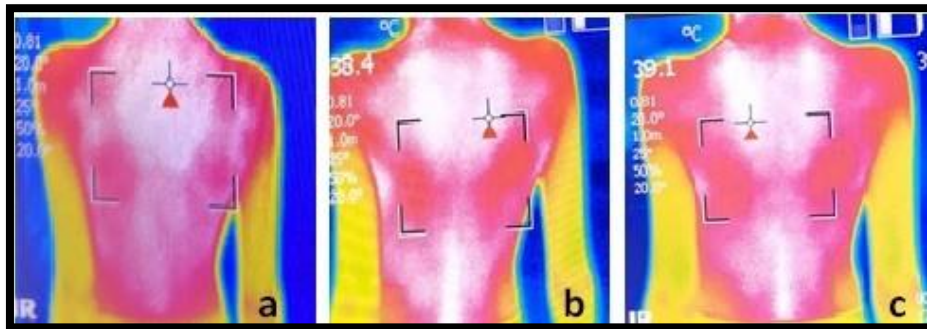
În timpul efectuării exercițiilor niciun subiect diagnosticat cu scolioză participant la experiment nu a fost corectat, astfel că, exercițiile au fost executate de către aceștia în cel mai corect mod posibil considerat de ei, fără influențe din exterior.

Prin achiziția de imagini după fiecare exercițiu s-a remarcat în cazul tuturor subiecților lotului de studiu un dezechilibru în activitatea mușchilor spatelui. În timpul exercițiului 1 s-a înregistrat o creștere a temperaturii în zona lombară ca și în cazul subiecților fără deviații dar s-a păstrat asimetria cromatică observată la începutul experimentului. În cazul exercițiului 2, mușchii au fost mai activi la nivel toracic pe partea convexității, prin realizarea exercițiilor cu membrele superioare. În general, subiecții cu scolioză execută ridicări ușor asimetrice ale membrilor superioare ceea ce se traduce prin activare asimetrică a musculaturii brațelor și trunchiului. Exercițiul 3, din decubit ventral, activează mai mulți mușchi ai spatelui decât exercițiul din patrupedie. În schimb, în cazul subiecților cu convexitate în zona lombară, s-a constatat că, inițial, are loc o activare mai puternică a mușchilor pe zona concavă (probabil din cauza necesității de stabilizare a bazinului prin ridicarea membrilor de pe sol) și numai după mai multe repetări ale exercițiului are loc o creștere a temperaturii în zona musculară de partea convexității. Acest lucru a putut fi observat în timpul exercițiilor 1 și 3.

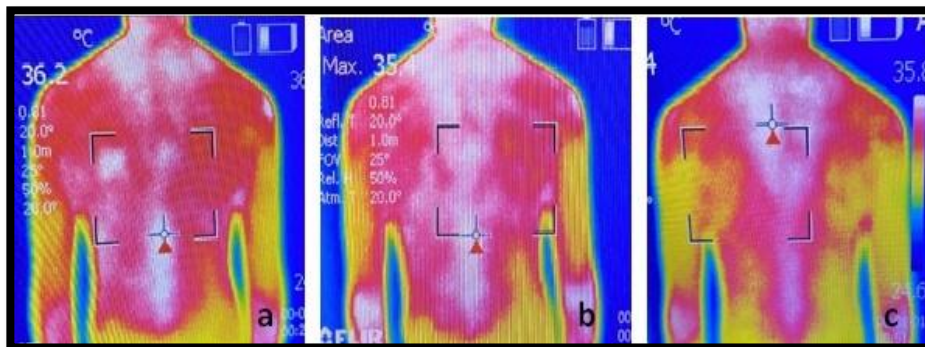
Deoarece imaginile achiziționate în cazul subiecților cu scolioză au evidențiat o activare musculară asimetrică, aceștia au fost rugați să participe și la o nouă evaluare în care exercițiile au fost corectate în timp real de către kinetoterapeut, prin indicații verbale asupra zonelor de interes sau a poziției spatelui, membrele superioare și inferioare. Mai jos sunt prezentate imagini care prezintă comparativ pentru 3 subiecți 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 efectuat pe lotul de studiu. Imaginile prezentate în Figurile 6.46, 6.47 și 6.48. sunt ale aceluiași subiect cu scolioză prezentați mai sus în Figurile 6.43, 6.44, 6.45.



a. b. c.  
Figura 6.46. Subiect cu scolioză 1: a) imagine preluată la începutul experimentului 1  
b) imagine preluată la sfârșitul experimentului 1  
c) imagine preluată la sfârșitul experimentului 2



a. b. c.  
Figura 6.47. Subiect cu scolioză 2: a) imagine preluată la începutul experimentului 1  
b) imagine preluată la sfârșitul experimentului 1  
c) imagine preluată la sfârșitul experimentului 2



a. b. c.  
Figura 6. 48. Subiect cu scolioză 3: 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 corecți 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. Prin urmare este important ca exercițiile să fie explicate corect copiilor cu scolioza și programul de reabilitare să se desfășoare sub supravegherea specialistilor cel puțin inițial iar abia apoi, acestea să fie introduse într-un program ce poate fi efectuat acasă sub supravegherea unui adult care a fost în prealabil instruit asupra corectitudinii lor.

În urma efectuării experimentului 4 s-au făcut următoarele observații:

- ✓ camera de termoviziune poate fi de un real folos în cabinetul de kinetoterapie deoarece informațiile furnizate sunt unice prin caracterul lor intuitiv. Nicio altă procedură imagistică nu oferă un rezultat atât de ușor de citit, în timp real pentru terapeut;
- ✓ terapeutul poate utiliza camera termografică pentru achiziția de imagini la începutul ședinței și în timpul programului de exerciții și poate obține informații prețioase cu privire la eficiența exercițiului;
- ✓ imaginile inițiale, intermediare și finale permit terapeutului să evalueze eficiența exercițiului imediat după efectuarea acestuia și să interacționeze cu pacientul în sensul introducerii de corecții. Astfel, acest nou tip de investigație contribuie la creșterea eficienței programului de exerciții.

### 6.3. Concluzii

Capitolul 5 prezintă pe larg utilizarea și rezultatele obținute cu cele două echipamente de investigare a deviațiilor vertebrale în plan frontal propuse a fi realizate în cadrul studiilor doctorale pentru a urmări eficiența exercițiilor fizice.

Prima parte a capitolului cuprinde descrierea experimentelor realizate cu ajutorul echipamentului alcătuit din senzori accelerometrici. Într-o primă fază, experimentală, echipamentul dezvoltat a fost utilizat pentru a calcula unghiurile Cobb prin metodele matematice propuse anterior, în cazul unei scolioze ușoare și apoi în cazul unei scolioze medii. Validarea rezultatelor obținute s-a realizat prin compararea cu valorile calculate de medicii radiologi pe RX, dar și cu unghiurile calculate matematic pe imaginea achiziționată în cadrul experimentului. S-a procedat la dezvoltarea unui program de citire rapidă a datelor care să ușureze realizarea experimentelor ce se doreau a fi realizate pentru urmărirea eficienței exercițiilor de reabilitare.

În urma efectuării acestor experimente se poate afirma că:

- ✓ modelarea matematică a formei coloanei vertebrale este posibilă prin utilizarea funcțiilor de aproximare polinomiale de grad 4, 5 și 8, cu ajutorul aplicației soft de uz general (MS Excel) sau dedicate (generate în MATHCAD14);
- ✓ curbele de aproximare obținute sunt apropiate ca formă cu cele ale coloanei prezentate pe imaginea radiologică RX în cazul tuturor subiecților luați în studiu;
- ✓ 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 analiză;
- ✓ echipamentul cu accelerometre dezvoltat face posibilă urmărirea mult mai ușoară a evoluției unei scolioze, atât de către medic cât și de către

fizioterapeut, în cadrul evaluărilor periodice dar și al ședințelor de terapie în care se dorește aprecierea eficienței exercițiilor indicate.

Echipamentul dezvoltat a fost apoi utilizat pentru evaluarea unui lot de 10 subiecți diagnosticați cu scolioză. Astfel, au fost testate diferite mișcări și exerciții care se utilizează la ora actuală în cabinetele de recuperare, având scopul de a se observa modificările pe care le suferă unghiurile Cobb în diferite secvențe de desfășurare a exercițiilor. Au fost alese exerciții din metoda Schroth, Mézières și gimnastica clasică de recuperare.

Centralizând datele culese în timpul experimentelor realizate, s-a observat că exercițiul specific metodei Schroth, prin corecțiile tridimensionale, realizează cea mai eficientă aliniere a corpilor vertebrali în plan frontal, micșorând unghiurile Cobb înregistrate.

Exercițiul din metoda Mézières, produce o scădere a unghiului Cobb, în principal în curbura primară, însă determină, în multe cazuri, o accentuare a curburilor compensatorii.

În ceea ce privește exercițiile din gimnastica clasică de recuperare, s-au analizat mișcările de înclinare laterală din poziția stând și un exercițiu din poziția atârnat. S-a constatat că înclinarea laterală determină o aliniere a corpilor vertebrali cu minimizarea unghiului Cobb în cazul în care înclinarea se realizează de pe partea convexității, însă ea determină o accentuare a unghiului Cobb compensator, superior sau inferior de curbura principală. Exercițiul din poziția atârnat produce, în principal, o micșorare a unghiului Cobb în zona torcală. Pentru zona lombară, poziția de atârnat nu oferă beneficii în cazul scoliozei lombare deoarece, fiind o poziție în lanț cinematic deschis pentru membrele inferioare, este greu de menținut poziția corectă a segmentelor.

Examinarea rezultatelor obținute în urma experimentului a relevat faptul că:

- ✓ echipamentul alcătuit din senzori accelerometrici poate fi utilizat pentru analiza modificărilor unghiurilor Cobb în timpul exercițiilor;
- ✓ urmărind modul de evoluție a unghiurilor Cobb în anumite secvențe ale exercițiilor, terapeutul poate corecta și eficientiza programul de exerciții;
- ✓ exercițiul care aparține metodei Schroth aduce cele mai mari modificări ale unghiurilor Cobb față de valorile de referință;
- ✓ exercițiul specific metodei Mézières modifică în cele mai multe cazuri unghiul Cobb cel mai mare dar superior și inferior curburii primare pot să apară elemente de compensare. Prin urmare există o instabilitate în plan frontal în poziția pe care o adoptă coloana vertebrală în timpul exercițiului;
- ✓ exercițiul analizat din poziția atârnat a evidențiat doar îmbunătățire pentru unghiul Cobb din zona toracală, deoarece poziția este mai ușor de controlat fiind aproape de zona de susținere. Pentru zona lombară corecția este mult mai greu de realizat și susținut, fiind o poziție într-un lanț cinematic deschis;
- ✓ 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;
- ✓ echipamentul cu accelerometre poate ajuta terapeutul să realizeze o analiză corectă asupra zonei coloanei vertebrale unde se dorește să se acționeze;
- ✓ înregistrarea datelor în timpul execuției exercițiului îl ajută pe terapeut să stabilească dacă exercițiul este adecvat pentru pacient;
- ✓ echipamentul permite terapeutului să aleagă cele mai eficiente exerciții pentru fiecare pacient în parte.

În partea a doua a capitolului s-au prezentat experimentele realizate cu termograful FLIR B200. Cercetarea a fost desfășurată pe un lot mai mare de subiecți, 30 la număr, și a cuprins atât persoane cu scolioză cât și persoane fără deviații de postură.

Inițial s-a analizat comparativ, imaginea achiziționată cu camera termografică și datele culese de la echipamentul alcătuit din accelerometre, pentru a se observa dacă cele două metode pot fi corelate în ceea ce privește eficiența execuției unei mișcări. În studiu au fost luate aceleași exerciții ca în prima parte a cercetării. S-a considerat valid rezultatul în care unghiurile Cobb, calculate matematic (cu ajutorul datelor culese cu echipamentul alcătuit din senzori accelerometrici), au scăzut în timpul exercițiului și, în același timp, temperatura (înregistrată cu termograful) la suprafața tegumentului a crescut exact pe zona de convexitate a curbării.

Analiza rezultatelor obținute prin prelevarea de imagini termografice a confirmat primele rezultate obținute cu echipamentul alcătuit din senzori accelerometrici. Studiul cu termograful a dovedit că exercițiul din metoda Schroth determină o activare a mușchilor erector spinal, în vreme ce exercițiile din metoda clasică de gimnastică sau Mezier, stimulează musculatura superficială a spatelui și pe o zonă mai întinsă.

În continuarea cercetărilor, au fost analizate cu termograful FLIR B200, o serie de exerciții care aparțin metodei Schroth, dar și gimnasticii clasice medicale, și care datorită limitării acțiunii senzorilor accelerometrici nu au putut fi evaluate cu echipamentul conceput inițial. Cercetările au relevat o serie de informații extrem de importante pentru terapeuți în ceea ce privește modul de activare a musculaturii în timpul exercițiilor, selecția pozițiilor de realizare a mișcărilor, numărul de repetări necesare pentru eficientizare.

Un ultim experiment prezentat în capitolul 5 a vizat evaluarea unor exerciții care sunt des utilizate în programele de recuperare atât în cabinete cât și la domiciliu sau pe internet. La acest studiu au participat atât persoane diagnosticate cu scolioză cât și persoane fără deviații posturale în plan frontal și care au realizat sub control termografic exerciții simetrice. Rezultatele au evidențiat diferența clară de activare a musculaturii între cele două loturi de subiecți. În cazul subiecților fără deviații scoliotice, musculatura a lucrat simetric, neexistând diferențe de cromatică între partea dreaptă și partea stângă a spatelui. În cazul subiecților cu scolioză s-a evidențiat o activare inegală a musculaturii, de partea convexității apărând o creștere mai pronunțată a temperaturii. Important de subliniat este faptul că intervenția terapeutului prin explicații și corecții asupra poziției corpului și amplitudinii de mișcare, a determinat ulterior la subiecții cu scolioză, o angajare simetrică a musculaturii. Această constatare este extrem de importantă în ceea ce privește conduita de lucru în cazul scoliozelor ușoare cărora le pot fi indicate și exerciții simetrice, și acest lucru doar sub supravegherea unui terapeut.

În cadrul experimentelor realizate cu termograful FLIR B200 se pot formula următoarele observații:

- ✓ efectuarea exercițiilor determină o creștere a temperaturii în toate zonele implicate în mișcare, atât în cele de convexitate cât și în cele de concavitate;
- ✓ mai ales în zona lombară, se înregistrează inițial o creștere a temperaturii în zona corespunzătoare musculaturii din concavitate pentru ca apoi să crească temperatura în musculatura din zona de convexitate;
- ✓ la finalul exercițiilor specifice metodei Schroth s-a evidențiat o creștere mai mare a temperaturii la nivelul spatelui. În cazul acestor exerciții

- musculatura se activează ținut pe zona de convexitate, la nivelul vârfului curburii;
- ✓ poziția din care se desfășoară exercițiul este importantă deoarece aceasta poate ajuta la eficientizarea mișcării. Exercițiile din decubit lateral activează mai eficient musculatura spatelui decât exercițiile din decubit ventral;
  - ✓ exercițiile din decubit ventral din metoda Cotrel sunt eficiente mai ales în cazul scoliozelor lungi toracale deoarece activarea musculaturii se realizează pe zona toracală de mijloc și lombară;
  - ✓ este important ca exercițiile să fie adaptate tipului de scolioză, dar și capacității subiecților de a executa fiecare corecție cerută de terapeut;
  - ✓ 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;
  - ✓ se pot realiza comparații între imaginile achiziționate luând în discuție nu doar modificarea temperaturii, ci și uniformizarea acțiunii musculaturii din zonele luate în observație;
  - ✓ 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 corecționați de un terapeut;
  - ✓ exercițiile simetrice ar putea fi recomandate în programele de la domiciliu numai după ce subiecții știu să le execute corect și doar sub supravegherea adulților care au fost pregătiți în prealabil;
  - ✓ camera de termoviziune poate fi un instrument foarte util în sălile de kinetoterapie în cazul programelor de reechilibrare posturală.

## 7. CONCLUZII GENERALE. CONTRIBUȚII ORIGINALE

Scolioza este o deviație a coloanei vertebrale în plan frontal care este tot mai des întâlnită la copii și adolescenți. Tratamentul indicat poate include kinetoterapie și tratament orthopedic (corset). În vreme ce studiile de cercetare au demonstrat eficiența purtării corsetului rigid, în literatura de specialitate părerile sunt împărțite asupra eficienței exercițiilor fizice. Prin urmare, teza de față a fost realizată cu scopul de a demonstra efectul benefic pe care exercițiul fizic îl are asupra îmbunătățirii posturii prin modificările unghiurilor Cobb în timpul tratamentului, dar și al activării musculaturii spatelui în timpul efectuării exercițiilor fizice specifice.

Cercetarea realizată a urmărit următoarele **obiective**:

- Proiectarea și realizarea unui stand experimental, care să permită achiziția de date numerice caracteristice pentru coloana vertebrală, 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, respectiv 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;
- Evaluarea eficienței programelor de exerciții de recuperare a scoliozelor, care aparțin unor metode diferite de tratament, prin utilizarea echipamentului propus, respectiv a modelelor generate;
- Utilizarea termografiei în studiul eficienței activării musculaturii spatelui în cazul exercițiilor specifice programelor de recuperare a scoliozelor.

Studiul efectuat în vederea realizării acestei teze a cuprins:

- Elaborarea unei sinteze asupra anatomiei și biomecanicii coloanei vertebrale;
- Prezentarea pe larg a factorilor care determină apariția scoliozei, modalitățile de diagnosticare și urmărire de-a lungul anilor, clasificările acestei deviații dar și tipuri de tratament recomandate (kinetoterapie, tratament ortopedic și chirurgical);
- Descrierea tuturor metodelor de depistare și evaluare a deviațiilor vertebrale utilizate în prezent și evidențierea avantajelor și dezavantajelor fiecăreia în parte: preluarea de imagine prin radiologie clasică, tomografia computerizată, imaginea bazată pe rezonanță magnetică nucleară, topografia Moirè, scanarea optică prin sisteme tip ISIS, rasterstereografia computerizată, maparea ultrasonică digitală, maparea tridimensională prin preluare digitală de imagine, termografia, senzorul Kinect, senzorii accelerometrici, aplicațiile smartphone dezvoltate în ultimii ani. Se observă tendința spre dezvoltarea unor metode noninvazive și noncontact care să facă posibilă evaluarea posturală cât mai complet și mai complex, fără a expune organismul la radiații nocive;
- Expunerea amplă a obiectivelor metodelor kinetice de tratament specifice scoliozelor: gimnastica clasică, terapia Schroth, conceptul SEAS, metoda DoboMed, Side shift and hitch exercises, conceptul ISR, metoda Mézières. În România, la ora actuală, se utilizează în cabinetele de recuperare exerciții care aparțin gimnasticii clasice medicale, exerciții din terapia Schroth și terapia Mézières;

- Dezvoltarea unui aparat matematic care să facă posibilă modelarea matematică a coloanei vertebrale. Datorită formei pe care o are coloana scolioțică s-au propus spre utilizare diferite funcții polinomiale de grad mare (polinom de aproximare de gradul 4, 5 și 8);
- Conceperea și realizarea unui echipament format din senzori accelerometrici care, atașați la tegumentul subiectului, să facă posibilă colectarea de date ce ajută la calculul modelului matematic al coloanei vertebrale aplicând aparatul matematic polinomial propus;
- Prezentarea pe larg a instrumentelor folosite pentru evaluarea eficienței exercițiilor de kinetoterapie: echipamentul format din senzori accelerometrici și termograful FLIR B200;
- Prezentarea cercetărilor experimentale în care s-a utilizat echipamentul cu senzori atașați la tegument și care au vizat:
  - Calculul unghiurilor Cobb în cazul scoliozelor de diferite grade prin aplicarea modelului matematic polinomial propus și validarea lui prin comparații cu valorile unghiurilor Cobb calculate pe radiografii, de către medicii imagiști;
  - Analiza modificării unghiurilor Cobb în timpul unor mișcări de înclinare laterală (mișcări utilizate în exercițiile ce fac parte din gimnastica medicală clasică) cu scopul de a urmări eficiența utilizării acestor elemente în cadrul programelor de kinetoterapie;
  - Examinarea modificării unghiurilor Cobb în timpul executării unor exerciții care aparțin diferitelor metode de tratament specific scoliozelor (metod Schroth, Mézières și gimnastica medicală clasică).
- Prezentarea cercetărilor experimentale realizate cu termograful FLIR B200, care au urmărit evaluarea modului de activare a musculaturii la nivelul spatelui în cazul subiecților cu sau fără scolioză, după cum urmează:
  - Evaluarea modului de variație a temperaturii la nivelul tegumentului spatelui în cazul unui lot de 30 de subiecți care au efectuat exerciții specifice de recuperare a scoliozei din metoda Schroth, Mézières și kinetoterapie clasică;
  - Evaluarea unor exerciții executate simetric, atât de subiecți cu scolioză cât și de subiecți fără deviații de postură.

Analiza rezultatelor obținute în urma cercetărilor 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 curbă 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;

- Polinomul de gradul 8 poate fi utilizat dar calculele matematice sunt anevoioase și pot da rezultate eronate din cauza modelelor generate, cu un număr mare de puncte de inflexiune.
- 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 cu accelerometre poate ajuta terapeutul să realizeze o analiza corectă asupra zonei coloanei vertebrale unde se dorește să se acționeze;
- Înregistrarea datelor în timpul execuției exercițiului îl ajută pe terapeut să stabilească dacă exercițiul este adecvat pentru pacient;
- 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;
- Se pot realiza comparații între imaginile achiziționate, luând în discuție nu doar modificarea temperaturii ci și uniformizarea acțiunii musculaturii din zonele luate în observație.
- 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 acestea pot să apară elemente de compensare. Prin urmare există o instabilitate în poziția pe care o adoptă coloana vertebrală în timpul exercițiului;
- Analizând mișcările de înclinare laterală indicate în cazul programelor clasice de recuperare, s-a constatat o aliniere a corpurilor vertebrale 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;

- Este important ca exercițiile să fie adaptate tipului de scolioză, dar și capacității subiecților de a executa fiecare corecție cerută de terapeut;
- 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 kinetoterapie;
- 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 scolioțice;
- 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;
- Testarea unui lot de 9 de subiecți diagnosticați cu scolioză și analiza ulterioară a modificărilor pe care le suferă coloana vertebrală în timpul exercițiilor specifice unor metode de tratament precum Schroth, Mézières sau kinetoterapia clasică;
- 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; kinetoterapia 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 kinetoterapie 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 scoliotice. Mișcările corective determină atât o re poziționare a corpilor 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.

#### **DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE**

În viitor, studiile asupra eficienței exercițiilor fizice specifice scoliozelor ar trebui să cuprindă:

- Analiza unui număr mai mare de subiecți, deoarece corpul uman este un organism unic în esența sa și fiecare individ poate reacționa diferit în timpul efectuării exercițiului fizic;
- Conceperea unui dispozitiv care să permită evaluarea exercițiilor din toate pozițiile de gimnastică utilizate în kinetoterapie;
- Urmărirea în cadrul cercetărilor viitoare și a modificărilor coloanei vertebrale în plan sagital și transversal, deoarece scolioza este o deviație tridimensională.

## BIBLIOGRAFIE

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. \*\*\*. *Coloana vertebrală*. 10,07,2022]; anatomia coloanei vertebrale]. Available from: <https://litherapy.ro/wp-content/uploads/2016/11/Coloana-Vertebrala.jpg>.
4. Prundeanu, H., S. Brad, O. Dressler, A. Prundeanu, and V. Epure, *Noțiuni de biomecanică*. 2004, Timișoara: Augusta, Artpress. 177.
5. Papilian, V., I. Albu, G. Radu, and A. Vaida, *Anatomia omului*. Vol. 1. 2006: BIC ALL. 305.
6. Gray, H., *Gray's Anatomy*. 1907 ed. 1974, London: Running Press Philadelphia.
7. Sbenge, T., *Kinesiologie. Știința mișcării*. 2002, București: Editura Medicală. 622.
8. Muscolino, J.E., *Kinesiology-E-Book: The Skeletal System and Muscle Function*. 2014: Elsevier Health Sciences.
9. Muscolino, J., *Balancing mobility and stability*. Journal of the Australian Traditional-Medicine Society, 2014. **20**(4): p. 256-259.
10. Muscolino, J.E., *The muscular system manual: the skeletal muscles of the human body*. 2016: Elsevier Health Sciences.
11. Negrini, S., S. Donzelli, A.G. Aulisa, D. Czaprowski, S. Schreiber, J.C. de Mauroy, H. Diers, T.B. Grivas, P. Knott, T. Kotwicki, A. Lebel, C. Marti, T. Maruyama, J. O'Brien, N. Price, E. Parent, M. Rigo, M. Romano, L. Stikeleather, J. Wynne, and F. Zaina, *2016 SOSORT guidelines: orthopaedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth*. Scoliosis and Spinal Disorders, 2018. **13**(1): p. 3.
12. Lehnert-Schroth, C., *Three-dimensional treatment for scoliosis: a physiotherapeutic method for deformities of the spine*. 2007: Martindale Press.
13. Carlson, B.B., D.C. Burton, and M.A. Asher, *Comparison of trunk and spine deformity in adolescent idiopathic scoliosis*. Scoliosis, 2013. **8**(1): p. 2.
14. Millner, P.A. and R.A. Dickson, *Idiopathic scoliosis: biomechanics and biology*. European Spine Journal, 1996. **5**(6): p. 362-373.
15. \*\*\*. *Evaluare coloană vertebrală*. 10.07.2022]; coloană sagital și frontal]. Available from: [https://blogbmv.files.wordpress.com/2018/07/mcdc7\\_scoliosis1.jpg?w=372&h=372](https://blogbmv.files.wordpress.com/2018/07/mcdc7_scoliosis1.jpg?w=372&h=372).
16. Golumbeanu, M. and A. Pop. *STUDY ON CHILD AND ADOLESCENT IDIOPATHIC SCOLIOSIS*. 2010.
17. Stokes, I.A., A.P. Sangole, and C.E. Aubin, *Classification of scoliosis deformity three-dimensional spinal shape by cluster analysis*. Spine (Phila Pa 1976), 2009. **34**(6): p. 584-90.
18. Ovadia, D., *Classification of adolescent idiopathic scoliosis (AIS)*. J Child Orthop, 2013. **7**(1): p. 25-8.
19. Lee, G.B., D.T. Priefer, and R. Priefer, *Scoliosis: Causes and Treatments*. Adolescents, 2022. **2**(2).

20. Lenke, L.G., R.R. Betz, J. Harms, K.H. Bridwell, D.H. Clements, T.G. Lowe, and K. Blanke, *Adolescent Idiopathic Scoliosis : A New Classification to Determine Extent of Spinal Arthrodesis*. JBJS, 2001. **83**(8).
21. Lenke, L.G., C.C. Edwards, 2nd, and K.H. Bridwell, *The Lenke classification of adolescent idiopathic scoliosis: how it organizes curve patterns as a template to perform selective fusions of the spine*. Spine (Phila Pa 1976), 2003. **28**(20): p. S199-207.
22. \*\*\*. *Evaluare scolioză fir cu plumb*. 10.07.2022]; evaluarea scoliozei cu firul cu plumb]. Available from: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQK7276xhgYu3808yHn8GFd2r74B8Kzy4TZDQ&usqp=CAU>.
23. Janicki, J.A. and B. Alman, *Scoliosis: Review of diagnosis and treatment*. Paediatrics & Child Health, 2007. **12**(9): p. 771-776.
24. Altaf, F., A. Gibson, Z. Dannawi, and H. Noordeen, *Adolescent idiopathic scoliosis*. BMJ : British Medical Journal, 2013. **346**: p. f2508.
25. \*\*\*. *Schroth Scoliosis 3DC evaluate scoliometru*. 10.07.2022]; Available from: <https://scoliosis3dc.com/2011/01/26/evaluating-scoliosis-scoliometer/>.
26. Hresko, M.T., *Idiopathic Scoliosis in Adolescents*. New England Journal of Medicine, 2013. **368**(9): p. 834-841.
27. \*\*\*. *Evaluare scoliometru* Available from: [https://www.mdpi.com/healthcare/healthcare-10-00398/article\\_deploy/html/images/healthcare-10-00398-q003.png](https://www.mdpi.com/healthcare/healthcare-10-00398/article_deploy/html/images/healthcare-10-00398-q003.png).
28. Balg, F., M. Juteau, C. Theoret, A. Sotelis, and G. Grenier, *Validity and Reliability of the iPhone to Measure Rib Hump in Scoliosis*. Journal of Pediatric Orthopaedics, 2014. **34**(8).
29. \*\*\*. *Scolioză 3 DC măsurare unghi Cobb*. Available from: <https://scoliosis3dc.com/2010/11/15/evaluating-scoliosis-cobb-angle/>.
30. \*\*\*. *Calcul unghi Cobb*. 10.07.2022]; modul de calcul al unghiului Cobb]. Available from: <https://blogbmv.files.wordpress.com/2018/07/images.jpg?w=372&h=184>.
31. Senkoylu, A., M.N. Ilhan, N. Altun, D. Samartzis, and K.D.K. Luk, *A simple method for assessing rotational flexibility in adolescent idiopathic scoliosis: modified Adam's forward bending test*. Spine Deformity, 2021. **9**(2): p. 333-339.
32. Rigo, M., *Patient evaluation in idiopathic scoliosis: Radiographic assessment, trunk deformity and back asymmetry*. Physiotherapy Theory and Practice, 2011. **27**(1): p. 7-25.
33. \*\*\*. *Semnul Risser*. 10.07.2022]; semnul Risser]. Available from: <https://www.centretoulousaindurachis.fr/wp-content/uploads/2016/12/scoliose-enfant-c4.png>.
34. \*\*\*. *Semn Risser RX*. 10.07.2022]; Available from: <https://www.petrebogdan.ro/wp-content/uploads/risser-300x200.jpg>.
35. Weiss, H.R., S. Negrini, M. Rigo, T. Kotwicki, M.C. Hawes, T.B. Grivas, T. Maruyama, and F. Landauer, *Indications for conservative management of scoliosis (SOSORT guidelines)*. Studies in health technology and informatics, 2008. **135**: p. 164-170.
36. \*\*\*. *tratament scolioza*. 10.07.2022]; Available from: <https://scoliosistexas.com/treatment/traditional-scoliosis.html>.
37. Negrini, S., A.G. Aulisa, L. Aulisa, A.B. Circo, J.C. De Mauroy, J. Durmala, T.B. Grivas, P. Knott, T. Kotwicki, and T. Maruyama, *2011 SOSORT guidelines: orthopaedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth*. Scoliosis, 2012. **7**(1): p. 1-35.

38. Negrini, S., S. Donzelli, A.G. Aulisa, D. Czaprowski, S. Schreiber, J.C. de Mauroy, H. Diers, T.B. Grivas, P. Knott, T. Kotwicki, A. Lebel, C. Marti, T. Maruyama, J. O'Brien, N. Price, E.C. Parent, M. Rigo, M. Romano, L. Stikeleather, J. Wynne, and F. Zaina, *2016 SOSORT guidelines: orthopaedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth*. *Scoliosis and Spinal Disorders*, 2018. **13**(1): p. 3.
39. Karol, L.A., *The Natural History of Early-onset Scoliosis*. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 2019. **39**.
40. Maruyama, T., Y. Kobayashi, M. Miura, and Y. Nakao, *Effectiveness of brace treatment for adolescent idiopathic scoliosis*. *Scoliosis*, 2015. **10**(2): p. S12.
41. Negrini, S., A.G. Aulisa, P. Cerny, J.C. de Mauroy, J. McAviney, A. Mills, S. Donzelli, T.B. Grivas, M.T. Hresko, T. Kotwicki, H. Labelle, L. Marcotte, M. Matthews, J. O'Brien, E.C. Parent, N. Price, R. Manuel, L. Stikeleather, M.G. Vitale, M.S. Wong, G. Wood, J. Wynne, F. Zaina, M.B. Bruno, S.B. Würsching, C. Yilgor, P. Cahill, E. Dema, P. Knott, A. Lebel, G. Lein, P.O. Newton, and B.G. Smith, *The classification of scoliosis braces developed by SOSORT with SRS, ISPO, and POSNA and approved by ESPRM*. *European Spine Journal*, 2022. **31**(4): p. 980-989.
42. Ruffilli, A., M. Fiore, F. Barile, S. Pasini, and C. Faldini, *Evaluation of night-time bracing efficacy in the treatment of adolescent idiopathic scoliosis: a systematic review*. *Spine Deform*, 2021. **9**(3): p. 671-678.
43. Cobetto, N., C.E. Aubin, S. Parent, J. Clin, S. Barchi, I. Turgeon, and H. Labelle, *Effectiveness of braces designed using computer-aided design and manufacturing (CAD/CAM) and finite element simulation compared to CAD/CAM only for the conservative treatment of adolescent idiopathic scoliosis: a prospective randomized controlled trial*. *European Spine Journal*, 2016. **25**(10): p. 3056-3064.
44. Zaborowska-Sapeta, K., I.M. Kowalski, T. Kotwicki, H. Protasiewicz-Faldowska, and W. Kiebzak, *Effectiveness of Cheneau brace treatment for idiopathic scoliosis: prospective study in 79 patients followed to skeletal maturity*. *Scoliosis*, 2011. **6**(1): p. 1-5.
45. Rigo, M. and D. Gallo, *A new RSC brace design to treat single long thoracic scoliosis. Comparison of the in-brace correction in two groups treated with the new and the classical models*. *Scoliosis*, 2009. **4**(2): p. 1-2.
46. Weiss, H.R., M. Werkmann, and C. Stephan, *Correction effects of the ScolioLogiC® „Chêneau light” brace in patients with scoliosis*. *Scoliosis*, 2007. **2**(1): p. 2.
47. Grivas, T.B. and E.S. Vasiliadis, *Cosmetic outcome after conservative treatment of idiopathic scoliosis with a dynamic derotation brace*. *Studies in health technology and informatics*, 2008. **135**: p. 387.
48. De Mauroy, J.C., C. Lecante, and F. Barral, *“Brace Technology” Thematic Series - The Lyon approach to the conservative treatment of scoliosis*. *Scoliosis*, 2011. **6**: p. 4.
49. Aulisa, A.G., V. Guzzanti, M. Galli, C. Perisano, F. Falciglia, and L. Aulisa, *Treatment of thoraco-lumbar curves in adolescent females affected by idiopathic scoliosis with a progressive action short brace (PASB): assessment of results according to the SRS committee on bracing and nonoperative management standardization criteria*. *Scoliosis*, 2009. **4**: p. 21.
50. Lusini, M., S. Donzelli, F. Zaina, and S. Negrini, *Brace treatment is effective in idiopathic scoliosis over 45: a prospective controlled study*. *Scoliosis*, 2013. **8**(1): p. 1-1.

51. Lusini, M., S. Donzelli, S. Minnella, F. Zaina, and S. Negrini, *Brace treatment is effective in idiopathic scoliosis over 45: an observational prospective cohort controlled study*. The Spine Journal, 2014. **14**(9): p. 1951-1956.
52. Van Loon, P.J.M., M. Roukens, J.D.J. Kuit, and F.B.T.M. Thunnissen, *A new brace treatment similar for adolescent scoliosis and kyphosis based on restoration of thoracolumbar lordosis. Radiological and subjective clinical results after at least one year of treatment*. Scoliosis, 2012. **7**(1): p. 1-10.
53. Bulthuis, G.J., A.G. Veldhuizen, and G. Nijenbanning, *Clinical effect of continuous corrective force delivery in the non-operative treatment of idiopathic scoliosis: a prospective cohort study of the TriaC-brace*. European Spine Journal, 2008. **17**(2): p. 231-239.
54. Karimi, M.T. and T. Rabczuk, *Evaluation of the efficiency of Boston brace on scoliotic curve control: A review of literature*. The Journal of Spinal Cord Medicine, 2020. **43**(6): p. 824-831.
55. Emans, J.B., *Scoliosis: diagnosis and current treatment*. Women Health, 1984. **9**(2-3): p. 81-102.
56. Lange, J.E., H. Steen, and J.I. Brox, *Long-term results after Boston brace treatment in adolescent idiopathic scoliosis*. Scoliosis, 2009. **4**: p. 17.
57. Lee, C.S., C.J. Hwang, D.J. Kim, J.H. Kim, Y. Kim, M.Y. Lee, S.J. Yoon, and D.H. Lee, *Effectiveness of the Charleston night-time bending brace in the treatment of adolescent idiopathic scoliosis*. Journal of Pediatric Orthopaedics, 2012. **32**(4): p. 368-372.
58. Maruyama, T., K. Takeshita, and T. Kitagawa, *Milwaukee brace today*. Disability and Rehabilitation: Assistive Technology, 2008. **3**(3): p. 136-138.
59. Lovasz, E.C., C.M. Gruescu, **A.M. Vutan**, and D.T. Margineanu, *Dynamic Study of an Adaptive Intelligent Cervical Brace Model Under Actuation, in MECHANISM DESIGN FOR ROBOTICS*. 2019. p. 327-334.
60. Spoonamore, M.J., L.A. Dolan, and S.L. Weinstein, *Use of the Rosenberger brace in the treatment of progressive adolescent idiopathic scoliosis*. Spine, 2004. **29**(13): p. 1458-1464.
61. Janicki, J.A., C. Poe-Kochert, D.G. Armstrong, and G.H. Thompson, *A comparison of the thoracolumbosacral orthoses and providence orthosis in the treatment of adolescent idiopathic scoliosis: results using the new SRS inclusion and assessment criteria for bracing studies*. Journal of Pediatric Orthopaedics, 2007. **27**(4): p. 369-374.
62. Coillard, C., A.B. Circo, and C.H. Rivard, *SpineCore treatment for early scoliosis: 15° to 24°*. Scoliosis, 2009. **4**(1): p. O34.
63. Szwed, A., M. Kołban, and M. Jałoszewski, *Results of SpineCor dynamic bracing for idiopathic scoliosis*. Ortopedia, traumatologia, rehabilitacja, 2009. **11**(5): p. 427-432.
64. Circo, A.B., C. Coillard, and C.H. Rivard, *Effectiveness of the SpineCor brace based on the standardized criteria proposed by the SRS for adolescent idiopathic scoliosis-up to date results*. Scoliosis, 2009. **4**(2): p. 1-1.
65. Gabos, P.G., J.A. Bojeskul, J.R. Bowen, K. Keeler, and L. Rich, *Long-term follow-up of female patients with idiopathic scoliosis treated with the Wilmington orthosis*. JBJS, 2004. **86**(9): p. 1891-1899.
66. Weiss, H.R. and D. Goodall, *Rate of complications in scoliosis surgery – a systematic review of the Pub Med literature*. Scoliosis, 2008. **3**(1): p. 9.
67. **Vutan, A.M.**, E.C. Lovasz, M. Amarandei, and V. Ciupe, *The methods used for the diagnosis and evaluation of scoliosis*. Timișoara Physical Education and Rehabilitation Journal, 2016. **9**(17): p. 45.

68. \*\*\*. *Aparat radiologie*. 2.02.2021]; Available from: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTztY-FkMLXw3eMlxjBREPGbjt5pz09h5sFMq&usqp=CAU>
69. \*\*\*. *Carte radiologie dr Pășcuț*. 2.02.2021]; aparatul de radioterapie]. Available from: [https://radiologie.usmf.md/wp-content/blogs.dir/131/files/sites/131/2018/04/2\\_Carte-Radiologie.pdf](https://radiologie.usmf.md/wp-content/blogs.dir/131/files/sites/131/2018/04/2_Carte-Radiologie.pdf).
70. Simony, A., L.Y. Carreon, and M.O. Andersen, *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.
71. Ronckers, C.M., C.E. Land, J.S. Miller, M. Stovall, J.E. Lonstein, and M.M. Doody, *Cancer mortality among women frequently exposed to radiographic examinations for spinal disorders*. Radiation research, 2010. **174**(1): p. 83-90.
72. Pace, N., L. Ricci, and S. Negrini, *A comparison approach to explain risks related to X-ray imaging for scoliosis, 2012 SOSORT award winner*. Scoliosis, 2013. **8**(1): p. 11.
73. Doody, M.M., J.E. Lonstein, M. Stovall, D.G. Hacker, N. Luckyanov, C.E. Land, and U.S.S.C.S. Collaborators, *Breast cancer mortality after diagnostic radiography: findings from the US Scoliosis Cohort Study*. Spine, 2000. **25**(16): p. 2052-2063.
74. Bone, C.M. and G.H. Hsieh, *The Risk of Carcinogenesis from Radiographs to Pediatric Orthopaedic Patients*. Journal of Pediatric Orthopaedics, 2000. **20**(2).
75. Goldberg, M.S., N.E. Mayo, A.R. Levy, S.C. Scott, and B. Poitras, *Adverse reproductive outcomes among women exposed to low levels of ionizing radiation from diagnostic radiography for adolescent idiopathic scoliosis*. Epidemiology, 1998: p. 271-278.
76. Levy, A.R., M.S. Goldberg, N.E. Mayo, J.A. Hanley, and B. Poitras, *Reducing the Lifetime Risk of Cancer From Spinal Radiographs Among People With Adolescent Idiopathic Scoliosis*. Spine, 1996. **21**(13).
77. Hui, S.C.N., J.P. Pialasse, J.Y.H. Wong, T. Lam, B.K.W. Ng, J.C.Y. Cheng, and W.C.W. Chu, *Radiation dose of digital radiography (DR) versus micro-dose x-ray (EOS) on patients with adolescent idiopathic scoliosis: 2016 SOSORT-IRSSD "John Sevastic Award" Winner in Imaging Research*. Scoliosis and Spinal Disorders, 2016. **11**(1): p. 46.
78. \*\*\*. *Aparat CT*. 10.07.2022]; Available from: <https://i0.wp.com/www.spad-imaging.ro/wp-content/uploads/2019/12/GoTop.png>.
79. \*\*\*. *CT coloană vertebrală*. 5.05.2022]; Available from: [https://www.wikidoc.org/images/4/4f/CT\\_scan\\_Hemivertebra\\_withcongenital-scoliosis.jpg](https://www.wikidoc.org/images/4/4f/CT_scan_Hemivertebra_withcongenital-scoliosis.jpg).
80. Hedequist, D.J. and J.B. Emans, *The Correlation of Preoperative Three-Dimensional Computed Tomography Reconstructions With Operative Findings in Congenital Scoliosis*. Spine, 2003. **28**(22).
81. Pană, I., M. Vlădăreanu, N. Roventă, and I. Mihăiță, *Radiologie I. Coloana vertebrală*. Vol. 1. 2000, București: Editura Didactică și Pedagogică. 286.
82. \*\*\*. *Scanner RMN*. 10.07.2022]; Available from: [https://www.scientia.ro/images/stories/articles/cum\\_functioneaza\\_lucrurile/imagistica\\_medicala/scaner-rmn.jpg](https://www.scientia.ro/images/stories/articles/cum_functioneaza_lucrurile/imagistica_medicala/scaner-rmn.jpg).
83. \*\*\*. *IRM coloană vertebrală*. 2.07.2022]; Available from: <https://i.ytimg.com/vi/A4oMIUFO7M0/maxresdefault.jpg>.

84. \*\*\*. *Topografie Moire*. 10.07.2022]; Available from: [https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSVxfyMwcXKsBN1tcepu6\\_gFc98xZZ9BSPu-6qhMADqIvo\\_JiAKqNijbF5T5Rr00K7eXLk&usqp=CAU](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSVxfyMwcXKsBN1tcepu6_gFc98xZZ9BSPu-6qhMADqIvo_JiAKqNijbF5T5Rr00K7eXLk&usqp=CAU).
85. Hackenberg, L., E. Hierholzer, V. Bullmann, U. Liljenqvist, and C. Götze, *Rasterstereographic analysis of axial back surface rotation in standing versus forward bending posture in idiopathic scoliosis*. *European Spine Journal*, 2006. **15**(7): p. 1144-1149.
86. Berryman, F., P. Pynsent, J. Fairbank, and S. Disney, *A new system for measuring three-dimensional back shape in scoliosis*. *European Spine Journal*, 2008. **17**(5): p. 663-672.
87. \*\*\*. *Imagine preluată cu sistemul ISIS*. 14.08.2021]; Available from: [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2367415/bin/586\\_2007\\_58\\_1\\_Fig6\\_HTML.jpg](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2367415/bin/586_2007_58_1_Fig6_HTML.jpg)
88. \*\*\*. *Scanare a spatelui cu dispozitivul Formatic*. 10.07.2022]; Available from: [https://scoliosissystems.com/images/stories/jpg-formetric-article\\_fig-6.jpg](https://scoliosissystems.com/images/stories/jpg-formetric-article_fig-6.jpg).
89. \*\*\*. *Sistemul Zebris*. 10.07.2022]; Available from: <https://www.researchgate.net/profile/Ireneusz-Kowalski/publication/265394702/figure/fig3/AS:213990023143429@1428030605229/Examination-with-Zebris-CMS-10-Ultrasound-probe-recording-the-position-of-marked.png>.
90. \*\*\*. *Componentele echipamentului Zebris*. 10.07.2022]; Available from: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcS0IHIXqG31EtbbvakBnYM8fM3xPVrCwDq0fq&usqp=CAU>.
91. Gruescu, C.M., A. Garaiman, and E.C. Lovasz, *Modeling of human spinal column and simulation of spinal deformities*. *MECHANIKA*, 2015(3): p. 214-219.
92. Luhmann, T., *Nahbereichs-photogrammetrie, Grundlagen, Methoden und Anwendungen*. Vol. 2. 2002, Heidelberg: Herbert Wichmann Verlag.
93. Gugoasă Garaiman, A., *Contribuții privind implementarea unor tehnici noninvasive avansate de investigație a deformațiilor de coloană vertebrală*, in *Inginerie Mecanică*. 2010, Universitatea Politehnică Timișoara: Timișoara.
94. Amarandei, M., *Contribuții privind implementarea investigației termografice în cercetarea din domeniul tehnic și medical*, in *Inginerie Mecanică*. 2013, Universitatea Politehnică Timișoara: Timișoara. p. 161.
95. \*\*\*. *Imagine termografică corp uman*. 10.07.2022]; Available from: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSNMvr9JHk5X9gPEz-MLH2hFmI6MpVI8T3ke5Bnp3DQ9wfsW4mP6-6WKOHf5hcyPmU0Xg0&usqp=CAU>.
96. Castro, A.P.G., J.D. Pacheco, C. Lourenço, S. Queirós, A.H.J. Moreira, N.F. Rodrigues, and J.L. Vilaça, *Evaluation of spinal posture using Microsoft Kinect™: A preliminary case-study with 98 volunteers*. *Porto Biomedical Journal*, 2017. **2**(1): p. 18-22.
97. Bonnet, V., T. Yamaguchi, A. Dupeyron, S. Andary, A. Seilles, P. Fraisse, and G. Venture. *Automatic estimate of back anatomical landmarks and 3D spine curve from a Kinect sensor*. in *2016 6th IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob)*. 2016.
98. Xu, W., Y. Zhang, C. Fu, L. Liu, C. Chen, W. Xu, and S. Guo. *Back Shape Measurement and Three-Dimensional Reconstruction of Spinal Shape Using One Kinect Sensor*. in *2020 IEEE 17th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI)*. 2020.

99. Bonnet, V., N. Sylla, A. Cherubini, A. González, C. Azevedo-Coste, P. Fraisse, and G. Venture. *Toward an affordable and user-friendly visual motion capture system*. in *EMBC*. 2014.
100. Ciobanu, O., G. Ciobanu, and A. Aiello, *An application of kinect depth sensor for scoliosis and kyphosis screening*, in *CMBEBIH 2017*. 2017, Springer. p. 713-717.
101. Tanaka, S., K. Yamakoshi, and P. Rolfe, *New portable instrument for long-term ambulatory monitoring of posture change using miniature electro-magnetic inclinometers*. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 1994. **32**(3): p. 357-360.
102. Bazzarelli, M., N.G. Durdle, E. Lou, and V.J. Raso, *A wearable computer for physiotherapeutic scoliosis treatment*. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2003. **52**(1): p. 126-129.
103. Wong, W.Y. and M.S. Wong, *Trunk posture monitoring with inertial sensors*. *European Spine Journal*, 2008. **17**(5): p. 743-753.
104. Wong, W.Y. and M.S. Wong, *Detecting spinal posture change in sitting positions with tri-axial accelerometers*. *Gait & Posture*, 2008. **27**(1): p. 168-171.
105. Lou, E., M. Bazzarelli, D. Hill, and N. Durdle. *A low power accelerometer used to improve posture*. *IEEE*.
106. Voinea, G.D. and S. Butnariu, *Design of a Scoliosis Monitoring System Using Inertial Sensors*. *Applied Mechanics and Materials*, 2015. **772**: p. 597-602.
107. Voinea, G.-D., S. Butnariu, and G. Mogan, *Measurement and Geometric Modelling of Human Spine Posture for Medical Rehabilitation Purposes Using a Wearable Monitoring System Based on Inertial Sensors*. *Sensors*, 2017. **17**(1).
108. Butnariu, S.L., *Utilizarea tehnologiilor de Realitate Virtuală (RV) și Realitate Augmentată (RA) în aplicații din inginerie, medicină și patrimoniu*, in *Inginerie mecanică, mecatronică, robotică*. 2016, Universitatea Transilvania Brașov: Brașov.
109. Cajamarca, G., I. Rodríguez, V. Herskovic, M. Campos, and J.C. Riofrío, *StraightenUp+: Monitoring of Posture during Daily Activities for Older Persons Using Wearable Sensors*. *Sensors*, 2018. **18**(10).
110. Naziri, Q., J. Detolla, W. Hayes, S.A. Burekhovich, A. Merola, C. Akamnanu, and C.B. Paulino, *A systematic review of all smart phone applications specifically aimed for use as a scoliosis screening tool*. *Journal of Long-Term Effects of Medical Implants*, 2018. **28**(1).
111. Weiss, H.R., *Rehabilitation of adolescent patients with scoliosis—what do we know? A review of the literature*. *Pediatric Rehabilitation*, 2003. **6**(3-4): p. 183-194.
112. Romano, M., A. Negrini, S. Parzini, M. Tavernaro, F. Zaina, S. Donzelli, and S. Negrini, *SEAS (Scientific Exercises Approach to Scoliosis): a modern and effective evidence based approach to physiotherapeutic specific scoliosis exercises*. *Scoliosis*, 2015. **10**(1): p. 1-19.
113. Fusco, C., F. Zaina, S. Atanasio, M. Romano, A. Negrini, and S. Negrini, *Physical exercises in the treatment of adolescent idiopathic scoliosis: an updated systematic review*. *Physiotherapy theory and practice*, 2011. **27**(1): p. 80-114.
114. Zimoń, M., E. Matusik, B. Kapustka, J. Durmała, I. Doroniewicz, and B. Wnuk, *Conservative management strategies and stress level in children and adolescents with idiopathic scoliosis*. *Psychiatr Pol*, 2018. **52**(2): p. 355-369.



115. \*\*\*. *polynomials*. 10.07.2022]; Available from: <https://en.wikipedia.org/wiki/Polynomial> <https://courses.lumenlearning.com/ivytech-collegealgebra/chapter/zeros-end-behavior-and-turning-points/>.
116. **Vutan, A.M.**, A. Davidescu, E.C. Lovasz, C.M. Gruescu, and V. Ciupe, *A New Method of Assessing the Evolution of Scoliosis*, in *PROCEEDINGS OF THE 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE UNIVERSITARIA CONSORTIUM (ICU 2018): THE IMPACT OF SPORT AND PHYSICAL EDUCATION SCIENCE ON TODAY'S SOCIETY*. 2018. p. 395-400.
117. \*\*\*. *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>.
118. \*\*\*. *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>.
119. \*\*\*. *Microcontroler*. 3.03.2017]; Available from: A-Star 32U4 Micro – Product information and resources webpage; <https://www.pololu.com/product/3101>.
120. **Vutan, A.M.**, V. Ciupe, C.M. Gruescu, and E.C. Lovasz. *Experimental Method for Dynamic Evaluation of Spinal Column Deformation Exercises*. in *New Advances in Mechanism and Machine Science*. 2018. Cham: Springer International Publishing.
121. Dragnea, A. and A. Bota, *Teoria activităților motrice: (educație fizică, sport, activități de timp liber, kinetoterapie, activități de expresie corporală)*. 1999, București: Editura Didactică și Pedagogică.
122. **Vutan, A.M.**, C.M. Gruescu, E.C. Lovasz, and V. Ciupe, *Discussion on Cobb Angle variation during progressive lateral flexion of the trunk*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018. **444**: p. 052020.
123. **Vutan, A.M.**, C.M. Gruescu, E.C. Lovasz, and V. Ciupe, *Method to model the spinal column shape*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019. **514**(1): p. 012046.
124. Chudecka, M., A. Lubkowska, K. Leźnicka, and K. Krupecki, *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.
125. Lubkowska, A. and E. Gajewska, *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. 8913.
126. Dębiec-Bąk, A., A. Skrzek, H. Podbielska, O. Golubnitschaja, and M. Stefańska, *Superficial temperature distribution patterns before and after physical activity in school children are indicative for personalized exercise coaching and disease prevention*. Epma j, 2021. **12**(4): p. 435-447.
127. **Vutan, A.M.**, E.C. Lovasz, C.M. Gruescu, C. Sticlaru, E. Sîrbu, N.A. Jurjiu, I.S. Borozan, and C. Vutan, *Evaluation of Symmetrical Exercises in Scoliosis by Using Thermal Scanning*. Applied Sciences, 2022. **12**(2).

# LISTA PUBLICAȚIILOR REZULTATE ÎN CADRUL PROGRAMULUI DE CERCETARE DOCTORALĂ SUB AFILIERE UPT

## 1. Lucrări științifice publicate în reviste indexate ISI

- **Vutan A.-M**, Lovasz E-Ch., Gruescu C.-M., Sticlaru C, Sîrbu E., Jurjiu N.-A., Borozan I.-S., Vutan C., *Evaluation of Symmetrical Exercises in Scoliosis by Using Thermal Scanning*, MDPI Applied Sciences, 2022, <https://doi.org/10.3390/app1202072>; IF 2.838, quartila Q2.

## 2. Lucrări științifice publicate în volumele unor manifestări științifice (Proceedings) indexate ISI Proceedings

- **A.M. Vutan**, C-M. Gruescu, E-Ch. Lovasz, V.Ciupe, "Discussion on Cobb Angle variation during progressive lateral flexion of the trunk", Book Series: IOP Conference Series-Materials Science and Engineering, vol.444, 052020, 2018
- **A.M. Vutan**, A.Davidescu, E-Ch. Lovasz, C-M. Gruescu, V.Ciupe, "A New Method of Assessing of Scoliosis", Proceedings Of The 4th International Conference Of The Universitaria Consortium (ICU 2018): The Impact Of Sport And Physical Education Science On Today's Society, pp. 395-400, 2018
- **A.M. Vutan**, C.M. Gruescu, V.Ciupe, D.T. Mărgineanu, E-Ch. Lovasz, "Effectiveness of Physical Exercises in the Treatment of Scoliosis - Mathematical Approach", New Trends In medical And Service Robotics: Advances In The Theory and Practice, Book Series: Mechanisms and Machine Science, vol. 65, pp.25-34, 2019
- E-Ch. Lovasz, C.M. Gruescu, **A.M. Vutan**, D.T. Margineanu, "Dynamic Study of an Adaptive Intelligent Cervical Brace under Actuation", Mechanisms Design for Robotics Book Series: Mechanisms and Machine Science, Vol. 65, pp 25-34, 2019

## 3. Lucrări științifice publicate în reviste de specialitate indexate BDI

- **A.M. Vutan**, E.-Ch. Lovasz, M. Amarandei, V. Ciupe, " The Methods used for the diagnosis and evaluation of sciosis" Timisoara Physical Education and Rehabilitation Journal, vol. 9 (17), pp 36-41, DOI: 10.1515/tperj-2016-0013 ( indexată în Baidu Scholar, Case, CNKI Scholar (China National Knowledge Infrastructure), CNPIEC – cnpLINKer, Dimensions, DOAJ (Directory of Open Access Journals), EBSCO (relevant databases), EBSCO Discovery Service, Educational Research Abstracts Online, Genamics JournalSeek, Google Scholar, Index Copernicus, ProQuest, Japan Science and Technology Agency (JST), J-Gate, JournalGuide, JournalTOCs, KESLI-NDSL (Korean

National Discovery for Science Leaders), Meta, Microsoft Academic, Naviga (Softweco), Primo Central (ExLibris), Publons, QOAM (Quality Open Access Market), ReadCube, Sherpa/RoMEO, Summon (Serials Solutions/ProQuest), TDNet, Ulrich's Periodicals Directory/ulrichsweb, WanFang Dat).

#### **4. Lucrări științifice publicate în volumele unor manifestări științifice (Proceedings) indexate BDI**

- **A.M. Vutan**, C.M. Gruescu, E-Ch. Lovasz, V. Ciupe "Method to Model the Spinal Column Shape" IOP Conference Series: Materials Science and Engineering vol. 514 (1),012046, iunie 2019, doi:10.1088/1757-899X/514/1/012046 (indexată în Scopus).
- **A.M. Vutan**, V.Ciupe, C.M. Gruescu, E-Ch. Lovasz, "Experimental method for dynamic evaluation of spinal column deformation exercises" Mechanisms and Machine Science, vol.57, pp 137-146, 2018 doi-org.am.e-nformation.ro/10.1007/978-3-319-79111-1\_13 ( indexată în Scopus, SpringerLink)