

EVALUAREA BIOPOSTURALĂ A UNOR PARAMETRI BIOMECANICI ȘI APLICAȚII CLINICE ÎN CHIRURGIA ORALĂ ȘI MAXILO-FACIALĂ

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

Felicia STREIAN

Conducători științifici: prof.univ.dr.ing. Inocențiu MANIU
prof.univ.dr. Angela Codruța PODARIU

Referenți științifici: prof.univ.dr.ing. Dan Silviu MÂNDRU
conf.univ.dr. Marius PRICOP
conf.univ.dr.ing. Veronica ARGEȘANU

Ziua susținerii tezei: 23.01.2015

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- | | |
|---|--|
| 1. Automatică | 9. Inginerie Mecanică |
| 2. Chimie | 10. Știința Calculatoarelor |
| 3. Energetică | 11. Știința și Ingineria Materialelor |
| 4. Ingineria Chimică | 12. Ingineria sistemelor |
| 5. Inginerie Civilă | 13. Inginerie energetică |
| 6. Inginerie Electrică | 14. Calculatoare și tehnologia informației |
| 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații | 15. Ingineria materialelor |
| 8. Inginerie Industrială | 16. Inginerie și Management |

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, 2013

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 9,
Tel./fax 0256 403823
e-mail: editura@edipol.upt.ro

Cuvânt înainte

Teza de doctorat a fost elaborată pe parcursul activității mele în cadrul Departamentului de Mecatronică al Universității Politehnica Timișoara.

Mulțumiri deosebite se cuvin conducătorilor de doctorat, prof.dr.ing. Inocențiu Maniu și prof.dr. Angela Codruța Podariu pentru consilierea permanentă, ajutorul competent și îndrumarea atentă pe tot parcursul realizării lucrării, asigurându-mi condiții optime pentru desfășurarea activității de cercetare.

Alese mulțumiri și profundă recunoștință doamnei conf.dr.ing. Veronica Argeșanu pentru ajutorul competent, materialul tehnic și sprijinul acordat în utilizarea echipamentelor din dotarea departamentului, susținerea constantă pe tot parcursul elaborării tezei, precum și în calitate de referent al tezei de doctorat.

Adresez mulțumiri comisiei de îndrumare, doamnei prof.dr.ing. Valeria Văcărescu, doamnei conf.dr.ing. Carmen Sticlaru și doamnei ș.l.dr.ing Mihaela Jula pentru ideile și suportul oferit pe parcursul elaborării tezei de doctorat.

Îmi exprim întreaga considerație față de membrii comisiei de doctorat în persoanele domnilor prof.dr.ing. Dan Silviu Mândru și conf.dr. Marius Pricop în calitate de referenți ai lucrării și domnului prof.dr.ing. Ilare Bordeasu în calitate de președinte al comisiei, pentru timpul acordat analizei lucrării.

Aș dori să mulțumesc tuturor cadrelor didactice din cadrul departamentului de Mecatronică al Universității Politehnica Timișoara, cât și colegilor din Clinica de Chirurgie Orală și Maxilo-Facială a Universității de Medicină și Farmacie „Victor Babeș” Timișoara care mi-au asigurat un cadru adecvat pentru cercetare și sprijin constant.

Aduc mulțumiri familiei mele, colegilor, prietenilor și tuturor celor care mi-au oferit o susținere morală și profesională.

Timișoara, ianuarie 2015

Felicia Streian

Streian, Felicia

Titlul tezei

Teze de doctorat ale UPT, Seria 9, Nr. 158, Editura Politehnica, 2015, 127 pagini, 82 figuri, 6 tabele și 2 anexe.

ISSN: 1842-4937

ISBN: 978-606-554-906-7

Cuvinte cheie:

postură, baropodometru, termografie, traumatisme maxilo-faciale, parametri biomecanici, ocluzie, modelare cu element finit.

Rezumat,

Tema de cercetare are un puternic caracter interdisciplinar, abordând aspecte medicale prin metode ingineresti. Teza de doctorat bazată pe cercetarea aplicată are ca obiectiv principal o analiză din punct de vedere biomecanic a modificărilor posturale permanente care au efect asupra mecanicii corporale după intervenții de chirurgie orală și maxilo-facială. Patologia maxilarelor și a feței are un impact socio-economic major, reprezentând o interfață în dinamică, supusă permanent forțelor mecanice modelatoare, fiziologice și patologice, dificil de cuantificat *in vivo*. Cercetările au avut ca scop analiza modelării biomecanice, un studiu posturografic și al sistemului stomatognat, asocierea studiului postural cu tratamentul și recuperarea sistemului stomatognat prin utilizarea echilibrului postural în corelație cu recuperarea postoperatorie, ca propunere de metodă pentru monitorizarea postoperatorie a cazurilor cu traumatisme în vederea prevenirii sechelelor. Rezultatele obținute prin studiul termografic s-au comparat cu abordarea analitică. Legătura între traumatism și modificarea posturală precizată empiric în literatura de specialitate a fost demonstrată prin metoda termografică, analiza modificărilor posturale cu platforma baropodometrică și analiza cu element finit. Tema propusă a fost abordată complex prin evaluări experimentale, analitice, modelare și simulare, pentru certificarea rezultatelor.

Cuprins

1.	Prezentarea temei.....	7
1.1.	Importanța și actualitatea temei de cercetare.....	7
1.2.	Obiective propuse.....	8
2.	Aspecte privind stadiul actual al cercetărilor în domeniu	10
2.1.	Postura. Posturologia. Sistemul Postural	10
2.2.	Aparatul stomatognatic și postura umană	16
2.2.1.	Mandibula	17
2.2.2.	Ocluzia și Malocluzia.....	19
2.2.3.	Mușchii masticatori	21
2.2.4.	Articulația temporo-mandibulară (ATM)	23
2.2.5.	Disfuncțiile ATM.....	25
2.2.6.	Relația dintre vârstă și postura umană	26
2.2.7.	Tratament – „resetare posturală”.....	27
2.3.	Aspecte biomecanice ale sistemului masticator	27
2.4.	Caracteristici biomecanice ale țesuturilor maxilo-faciale.....	29
2.5.	Metode și mijloace de investigare posturală	30
2.6.	Justificarea alegerii temei. Influența patologiei maxilo-faciale asupra posturii umane	31
3.	Analiza influenței intervențiilor chirurgicale orale și maxilo-faciale în corecția deficiențelor posturale prin metode experimentale	34
3.1.	Determinarea modificărilor posturale cu ajutorul platformei baropodometrice electronice DIASU SYSTEM.....	34
3.1.1.	Analiza statică	36
3.1.2.	Analiza stabilometrică	38
3.1.3.	Analiza dinamică.....	39
3.2.	Rezultatele analizei experimentale	41
4.	Abordarea analitică și experimentală a sistemului stomatognat.....	52
4.1.	Aspecte anatomice ale sistemului stomatognat uman (din perspectivă biomecanică)	52
4.1.1.	Articulații – ATM. Aspecte biomecanice articulare.....	52
4.1.2.	Mușchii masticatori. Aspecte biomecanice	53
4.1.3.	Biomecanica mușchilor masticatori.....	53
4.1.4.	Mișcările maxilarelor – Mișcările de masticație - Masticația.....	54
4.1.5.	Forțe exercitate de mușchii masticatori.....	56
4.2.	Geometria mandibulei	58
4.3.	Încărcările externe și interne ale mandibulei	60
4.4.	Metode de tratament ale traumatismelor maxilo-faciale.....	62
4.5.	Studiul termografic în patologia maxilo-facială.....	64
4.5.1.	Noțiuni de termografie	64
4.5.2.	Descrierea etapelor de tratament.....	66
4.5.3.	Rezultatele studiului termografic al leziunilor maxilo-faciale	67
5.	Analiza biomecanică a posturii.....	71
5.1.	Alcătuirea și analiza structurală a unui lanț cinematic osteo-articular.....	71
5.2.	Adaptarea structurii scheletale la încărcările funcționale	74
5.3.	Metoda multisegment pentru determinarea centrelor de masă.....	76
5.4.	Tipuri de mișcări și caracterizarea lor cinematică	77

5.5.	Calculul gradelor de libertate.....	78
5.6.	Echilibru static și dinamic.....	78
5.7.	Determinarea forțelor de reacțiune din articulația gleznei în condiții dinamice	82
5.8.	Determinarea maselor reduse și a poziției centrului de greutate ale subiectului analizat	86
6.	Modelarea, simularea și determinarea experimentală a stării de tensiune și deformație a coloanei vertebrale.....	88
6.1.	Obiectivele urmărite.....	89
6.2.	Crearea modelului – Geometria	89
6.3.	Rezultatele analizei FEM utilizând softul ANSYS	93
7.	Concluzii finale. Contribuții personale. Direcții viitoare de cercetare.....	96
7.1.	Concluzii finale	96
7.2.	Contribuții personale	97
7.3.	Direcții viitoare de cercetare	98
	Bibliografie	99
	Anexe.....	107

1. Prezentarea temei

Teza de doctorat intitulată „EVALUAREA BIOPOSTURALĂ A UNOR PARAMETRI BIOMECHANICI ȘI APLICAȚII CLINICE ÎN CHIRURGIA ORALĂ ȘI MAXILO-FACIALĂ” își propune un studiu biomecanic prin colaborarea transdisciplinară în cadrul unor studii de cercetare tehnico-medicale.

Modificările posturale compensatorii prelungite, produc modificări permanente care au efect asupra mecanicii corporale și pot explica simptomele pacienților posturali, care acuză sindroame dureroase oro-faciale sau cervicale inexplicabile.

Teza de doctorat bazată pe cercetarea aplicată are ca obiectiv principal o analiză din punct de vedere biomecanic a modificărilor permanente care au efect asupra mecanicii corporale după intervenții de chirurgie orală și maxilo-facială.

Tema de cercetare are un puternic caracter interdisciplinar, abordând aspecte medicale prin metode ingineresti. Patologia maxilarelor și a feței (maxilo-facială) are un impact socio-economic major, reprezentând o interfață în dinamică, supusă permanent forțelor mecanice modelatoare, fiziologice și patologice, dificil de cuantificat *in vivo*. Domeniile de patologie vizate sunt în principal traumatologia, chirurgia ortognată și reconstructivă.

Sistemele de investigare și simulare pentru analiza mișcărilor maxilare pot fi utilizate pentru simplificarea planificării preoperatorii a operațiilor maxilo-faciale, respectiv disecții și re poziționări musculare, precum și ca suport în scop didactic și de cercetare al medicilor dentiști și chirurghi. Acestea pot fi folosite și pentru informarea pacienților pentru a le spori încrederea și acceptul pentru actul operator. Prin simulare pot fi detectate malfuncții ale sistemului masticator sau poate fi validată forma și poziția protezelor dentare. [107,120,122]

Studiile clinice sunt dificil de realizat fiind costisitoare, consumatoare de timp și au un caracter strict medical. Elaborarea și validarea modelelor numerice poate clarifica aspecte medicale controversate dintr-o perspectivă inginerască, care nu pot fi încă explicate prin studii clinice strict medicale.

Progresele în investigarea și simularea computerizată dinamică a biomecanicii permit analizarea interacțiunii complexe între solicitări, tensiuni și mișcare în ansamblul complex al sistemului stomatognat-postură.

1.1. Importanța și actualitatea temei de cercetare

Posturologia studiază echilibrul uman static și dinamic în poziție verticală, precum și consecințele conectării sistemului proprioceptiv la o poziție vicioasă sistematică a corpului uman.

Aflată la interfața mai multor discipline medicale, Posturologia este o ramură medicală transdisciplinară relativ nouă rezultată în urma cercetărilor fundamentale inițiate în cursul anilor '50 în Italia, Franța, Portugalia și SUA care a ajuns la maturitate în anul 1985, când Asociația Franceză de Posturologie a publicat normele echilibrului ortostatic.

Potrivit specialiștilor în posturologie, numeroase probleme de sănătate (în special tulburări de echilibru, dureri de cap, amețeli, afecțiuni musculo-scheletice și traumatice ale sistemului stomatognat) pot determina probleme posturale care au fost până în prezent dificil de diagnosticat cu precizie. Posturologia este și un instrument de diagnostic care poate detecta și analiza mai precis diferite probleme de sănătate, precum și prevenția, respectiv corecția acestora.

Elementul de noutate a acestei discipline medicale constă în determinarea și analizarea celei mai mici devieri de la o postură normală, a dispoziției spațiale a corpului și a fiecărei articulații în parte, găsim și soluții terapeutice inovatoare, care funcționează nu numai asupra simptomelor, cum ar fi durerea de spate sau cefaleea, dar permit și o recuperare a spațialității corpului.

Statisticile arată că, cele mai frecvente recidive sunt cele ale durerilor la nivelul coloanei vertebrale. Impactul socio-economic este uriaș : 8 din 10 adulți au suferit sau suferă de dureri de spate; în Franța (2004), s-au acordat 13 milioane de zile de concediu medical pentru această problemă, în timp ce, în Italia (2004) s-au cheltuit peste 800 milioane euro doar pentru spitalizări datorate durerilor de spate.

Studii multidisciplinare au arătat că aceste dureri au cauze "la distanță", făcându-ne să utilizăm coloana (și întregul corp), în poziții, respectiv posturi vicioase. Astfel, Posturologia reunește specialități numeroase: ortopedie-podologie, kinesiologie, oftalmologie, stomatologie, chirurgie maxilo-facială, pediatrie, reumatologie, recuperare medicală, neurologie, O.R.L, vestibulogie etc.

Pentru a putea obține rezultate vizibile și semnificative este necesar să cunoaștem structura, arhitectura tridimensională și funcționarea suportului plantar. Patologia piciorului este un factor cauzal pentru o seamă de **tulburări „ascendente”**. Un concept postural original numit **ortoposturodonție** a fost introdus de școala franceză care susține și existența **tulburărilor descendente**, a lanțurilor posturale care pleacă din craniu în direcție caudală, într-o diagramă posturală numită „semnal în jos”. **Ortoposturodonția este „arta” realinierii corpului uman cu centrul de gravitație prin terapie ocluzală dentară.** [27,34]

Numeroase studii din literatură au indicat faptul că există corelații între dezechilibrele la nivelul cavității orale și diverse probleme medicale. Pacienții au fost studiați pentru diferite probleme medicale, printre afecțiuni fiind enumerate dureri de cap, probleme posturale (scolioze - curbarea spatelui), probleme oftalmologice, dureri ale cefei, etc. Reabilitarea dentomaxilară a dus, în 66.6% din cazuri, la reducerea simptomelor sau chiar la dispariția lor. [92,108,111,121,122]

1.2. Obiective propuse:

Obiectivul major al tezei de doctorat este resetarea posturală prin tratamentele aplicate pacienților care prezintă traume la nivelul sistemului stomatognat.

În vederea realizării obiectivului s-au realizat:

1. Cercetări experimentale asupra influenței intervențiilor chirurgicale orale și maxilo-faciale în prevenția și corecția deficiențelor posturale utilizând metode de diagnostic neinvazive: echipament de analiză statică și dinamică a posturii, precum și termograful.
2. Studiul și analiza sistemului stomatognat privind geometria mandibulei, încărcările externe și interne ale mandibulei.

3. Analiza posturală a tipurilor de mișcări, pârghiile osoase, aspectele anatomice din perspectivă biomecanică ale sistemului stomatognat.
4. Modelarea, simularea și determinarea stării de tensiune și deformare a coloanei vertebrale, ca expresie a dezechilibrului/echilibrului postural.
5. Simularea structurilor anatomice alterate prin actul traumatic și/sau operator chirurgical.
6. Obținerea de beneficii în planificarea preoperatorie a procedurilor chirurgicale.
7. Obținerea de beneficii în ghidarea reabilitării postoperatorii funcționale, astfel încât cunoașterea mai multor strategii în recuperarea postoperatorie să determine pacientul să fie antrenat să se restabilească funcțional.

Metodele de simulare pentru planificarea chirurgicală și recuperarea postoperatorie continuă să ofere perspective inovatoare.

Societatea actuală este focalizată, în domeniul sănătății, spre prevenția afecțiunilor. Aplicarea principiilor ergoingineriei are un rol important în profilaxie, generând rezultate superioare ale tratamentelor, și implicit ale calității vieții, la nivelul întregii populații.

Impactul social ridicat al unor afecțiuni ca scolioza, cervicalgia, lumbago sau sciatica atrage costuri consecutive însemnate suportate de serviciile de asigurări sociale. Aplicarea principiilor ingineresti în medicină și biologie, apropiind cele două științe, combinând soluționarea inginerescă a problemelor cu științele medicale și biologice pentru progrese în tratamentul afecțiunilor patologice, inclusiv diagnostic, monitorizare și terapie.

Bioingineria medicală bazată pe Ingineria Mecanică este un subdomeniu distinct, consacrat, asociat cu biomecanica, biotransportul, dispozitivele medicale și modelarea sistemelor biologice. [72,93,95]

2. Aspecte privind stadiul actual al cercetărilor în domeniu

Pentru **stadiul actual** al cercetării s-a făcut o amplă analiză bibliografică. Au fost selectate următoarele 3 baze majore electronice de date biomedicale: Elsevier, Medline și ScienceDirect. Pentru fiecare bază de date au fost testate mai multe seturi de cuvinte-cheie, cele mai relevante fiind: postural control, posturography, postural deficiency, maxillofacial surgery, thermography, finite element modeling (FEM).

Cercetările privind modelarea biomecanică a aparatului stomatognat, cu aplicații în recuperarea medicală, au fost structurate, în urma analizei rezultatelor publicate în literatura de specialitate, în două mari categorii, și anume:

- studii privind caracteristicile biomecanice intrinseci ale diferitelor țesuturi anatomiche componente (sunt avute în vedere aspectele descriptive anatomo-fiziologice/funcționale, ale structurii și rezistenței țesuturilor componente, ale artrologiei și cinematicii);
- studii privind modelarea analitică cu FEM, sau experimentală propriu-zisă a corpului uman și a aparatului stomatognat (cu referire la modelele fizice, matematice, experimentale deterministe sau nedeterministe, în care sunt evidențiate îndeosebi caracteristicile biomecanice extrinseci referitoare la cinematică, statică sau dinamică).

2.1. Postura. Posturologia. Sistemul Postural

Postura reprezintă poziția de echilibru vertical a corpului omenesc, ca poziție de referință a corpului uman asumată în spațiu și între diferitele segmente ale scheletului osos (distribuția masei sale gravitaționale). Echilibrul se consideră a fi relația optimă între individ și mediul său înconjurător.

Atitudinea pe care organismul o adoptă în mediul său poate fi normală/fiziologică sau anormală/patologică. Astfel, conceptul de postură nu se referă la o singură poziție statică sau rigidă.

Activitatea umană cotidiană de menținere a poziției verticale este o sarcină dificilă care implică o relație complexă între activitatea motorie și informația senzorială. [13]

Adaptarea la mediu poate să fie disarmonică și semnele clinice pot fi evidențiate clinic și paraclinic, prin teste specifice. Evaluarea posturală devine astfel extrem de importantă în prevenirea unor afecțiuni ca durerile de spate, durerile de cap, articulare și musculare. Studiul științific și clinic al posturii a avut o dezvoltare considerabilă în ultimii ani.

Posturologia este știința medicală care studiază disfuncțiile posturale prin intermediul disciplinelor medicale clasice, implicând aspecte de neurofiziologie, biomecanică și ergonomie.

Postura corectă este o atitudine statică echilibrată din punct de vedere neuro-musculo-scheletal, în timp ce echilibrul este „dinamic” și poate fi menținut sub oscilații mai ample care necesită o serie de atitudini posturale ce țin de proiecția centrului de greutate în poligonul de susținere (picioare). Rolul picioarelor este

primordial în problemele de echilibru și postură. Pe lângă chirurgia orală și maxilo-facială, sunt interesate specialități multiple: oftalmologia otorinolaringologia, neurologia, ortopedia și medicina dentară. Posturologia este cea mai avansată metodă de evaluare și tratament pentru afecțiunile sistemului stomatognat, afecțiunile ortopedice, performanțe sportive, etc, studiind disfuncțiile posturale și tulburările statice ale axului corporal, cu sau fără simptomatologie dureroasă.

Posturologia este o ramură medicală transdisciplinară relativ nouă rezultată în urma cercetărilor fundamentale inițiate în cursul anilor '50 în Italia, Franța, Portugalia și SUA, care a ajuns la maturitate în anul 1985, când Asociația Franceză de Posturologie a publicat normele echilibrului ortostatic. Medicul portughez Da Cunha, Henrique Martins (1928-2000) a fost cel care a inițiat și s-a dedicat total Posturologiei. Având tangențe cu specialitatea de Fizioterapie, a sesizat balansul corporal neobișnuit al pacienților suferind de dureri de spate.

Medicina bioposturală este un domeniu de aplicație clinic care permite specialistului identificarea și evaluarea disfuncțiilor posturii utilizând tehnologii diagnostice specifice. Pentru a investiga problemele cauzate de tulburările posturale DIASU - Diagnostic Support Research Centre în colaborare cu universități italiene de top a propus termeni ca Medicina Bioposturală și BPS – Biomechanical Postural Syndrome. [135]

Termenul de BPS a fost prezentat de o echipă multidisciplinară (Postural Biomedicine Team) în Ianuarie 2007, la „Posture and Movement 5th International Meeting”, University of Rome. Termenul de baropodometru a fost propus în 1986 de Piero Galasso, directorul DIASU, pentru a indica un dispozitiv specific de măsurare a presiunii plantare (baro=presiune, podo=picior, meter=măsură).

Examenle podiatrice devin astfel indispensabile corectării tulburărilor de echilibru. Podiatria este ramura medicală specializată în prevenirea și terapia bolilor picioarelor, arie fundamentală a corpului uman.

Pe lângă limitările funcționale musculoco-scheletale ale membrilor inferioare și coloanei vertebrale, suportul plantar incorect este cauza principală a problemelor posturale asociate cu un echilibru precar. Posturologia abordează holistic ființa umană într-o viziune sistemică și etiologică, evaluând starea de sănătate în armonie cu tradiția hipocratică a medicinei occidentale. Caracterul de interdisciplinaritate al posturologiei între diferitele specialități medico-chirurgicale lărgeste domeniul de eficacitate al terapiilor spre a asigura o stare de mai bine suferinzilor. [29,128,130]

În acest mileniu de înaltă tehnologie, în care domină robotica, microchirurgia, genetica, multe suferințe nediagnosticate sunt catalogate de corpul medical ca deficiențe posturale.

Alterarea proceselor de reglare prin diferite elemente ale vieții moderne constituie o sursă importantă de creștere considerabilă a tulburărilor posturale în țările industrializate sau în curs de dezvoltare. Ca urmare peste 90% din populația globului suferă de diferite tulburări ale coloanei vertebrale.

Sistemul postural

Postura umană este rezultatul poziționării și orientării corpului și membrilor în echilibru cu mișcarea și gravitația. Ajustările posturale constau în ușoare balansări, combinate cu informații vizuale, vestibulare și somatosenzoriale integrate într-un sistem de reglare complex.

Postura este comportamentul spațial pe care corpul nostru și-l asumă în relația cu ambientul și cu legile care guvernează acest ambient, prima dintre toate fiind forța gravitațională. Pentru aceasta, omul a dezvoltat o structură specializată care să învingă forța gravitațională, denumită "sistem tonic postural de stabilitate

verticală”. Acest sistem funcționează în mod automat și involuntar, nu se modifică cu exercițiul fizic și cu gimnastica; depinde, în mod esențial, de informațiile senzitive - tactile, dureroase, de presiune, etc. care provin de la talpa piciorului.

Sistemul postural este sistemul antigraitațional de menținere a echilibrului, static și dinamic, implicând factori neurofiziologici, biomecanici, psihoemoționali și relaționali. Echilibrul corporal trebuie privit ca relația optimă între om și mediul său înconjurător prin adoptarea unei posturi adecvate. Pentru un bun echilibru este evident că se impune adoptarea celei mai potrivite posturi. Postura ideală este reprezentată de diferitele segmente ale corpului, capul și gâtul, pieptul și abdomenul, echilibrate vertical unul peste celălalt, astfel ca greutatea să fie generată de cadrul osos, cu un minimum de efort și întindere a mușchilor și ligamentelor aflate într-o stare de activitate constantă.

Fiecare mișcare poate fi considerată ca o schimbare a posturii. Astfel, sistemul de control are o funcție extrem de importantă, optimizând viteza, forța și precizia fiecărei mișcări cu un minim consum de energie. Constrațiile involuntare ale mușchilor scheletici determină postura, atât statică cât și dinamică, ca atitudine însumată a tuturor segmentelor corpului aflate în strânsă relație.

Sistemul postural permite controlul poziției ortostatice prin constrația mușchilor antigraitaționali sau permite mișcarea prin controlul integrat al mușchilor flexori și extensori. Ansamblul segmentelor corpului uman se dispun în echilibru și sunt supuse gravitației. Dacă un singur element structural al acestui sistem este disfuncțional, echilibrul este compromis și apar ajustări care după depășirea abilității de compensare determină în principal, manifestări dureroase. Fiecare „modul”, conectat la următorul prin sistemul muscular, are propriul reflex central de reglare care-i permite menținerea poziției în relație cu cel subiacent, precum și un sistem global de reglare, tonusul postural.

Printr-un sistem de feedback, pe baza semnalelor vizuale, labirintice și proprioceptive, se corectează valoarea de referință în concordanță cu o schemă posturală a corpului bazată pe intrări izometrice și dinamice. [86]

Tonusul postural

Constrația musculară parțială pasivă și continuă (rezistența musculară la întinderea pasivă în repaus) reprezintă o tensiune musculară reziduală care ajută la menținerea posturii. Impulsuri nervoase *inconștiente* mențin musculatura scheletală într-o stare de constrație parțială, care ține organismul atât în *gardă* cât și în *echilibru*. Nu există practic o stare de pauză, mușchii fiind într-o stare de *stand by*. Musculatura netedă are și ea un tonus, deși nu este conectată direct la scheletul osos.

În fiecare poziție a corpului, mușchii trebuie să-și asume un nou tonus, pe lângă constrațiile evidente folosite pentru schimbarea poziției. Ajustările fine între diferitele segmente corporale determină posturi care să se potrivească noilor poziții adoptate asigurând trecerea cursivă între diferite mișcări. Când fiecare segment își aduce o contribuție potrivită, ansamblul este funcțional. Când mecanismul de reglare este afectat, mișcările devin necoordonate și nesigure.

O funcție atât de importantă care asigură optimizarea continuă a relației dintre individ și mediul care îl înconjoară necesită un întreg sistem, descris de Gallossi (2005) ca „Tonic Postural System” (TPS) ale cărui sarcini sunt:

- se opune gravitației;
- poziționează corpul uman în spațiu;
- permite mișcări echilibrate;
- corectează postura după recepția informațiilor.

Un dezechilibru al sistemului postural determină tensiuni anormale pe structurile anatomice care provoacă patologie dureroasă inflamatorie și degenerativă, inițial asimptomatică. Apariția unei afecțiuni la orice nivel impune sistemului compensări. Dovezi științifice documentează aceste corelații dintre o postură disarmonică și o gamă largă de afecțiuni, prin numeroase studii publicate în ultimii ani. Dezechilibrele sistemului postural sunt frecvent întâlnite, cauzele fiind diverse: traumatisme craniene, căderi accidentale până la condiții comune de stres și disconfort psihosomatic.

Tonusul postural depinde de integritatea arcurilor reflexe și de un bombardament permanent și stabil de impulsuri în mușchi, din sistemul nervos central prin intermediul nervilor motori. O modificare a numărului de fibre nervoase și musculare conduce la modificarea stării de contracție tonică.

În mișcare, ajustările posturale nu trebuie să fie doar rapide ci și exacte. Stimulul care inițiază o contracție a mușchilor extensori, va inhiba tonusul existent în flexori. O mișcare de contracție a unor extensori este asociată cu întinderea simultană a celor din partea opusă și vice versa, reprezentând o adaptare la răspunsul alternativ care are loc în mod normal în timpul mersului și alergatului.

Postura umană se realizează astfel prin suprapunerea a câteva module de la nivelul solului până la cel al capului. Corectarea dezechilibrelor sistemului tonic postural de exemplu ochi, picior, ocluzie dentară, limbă, poate preveni în mod eficient instalarea unor boli debilitante. [8,11]

Sistemul postural fin (SPF)

Controlul fin al posturii ortostatice este rodul numeroșilor factori biomecanici, senzoriali, neuropsihologici, integrați în timp real într-un ansamblu denumit "sistem postural fin" (SPF). Dereglările, uneori infime, pot explica simptomele pacienților posturali care suferă de vertijă, dureri lombare, cervicale sau dureri oro-faciale inexplicabile, de care sunt interesate specialități medicale multiple.

Ca orice sistem de reglare care permite menținerea homeostaziei, sistemul postural fin deține intrări care sunt reprezentate de receptorii săi senzoriali ce îl informează despre variațiile dintre axa corpului și mediul ambiant și de receptorii săi senzitivi care îl informează despre variațiile poziției diferiților mușchi, dar și despre amplasarea viscerelor și circulația sanguină.

Acești receptori denumiți exteroceptori sau endoreceptori în funcție de originea informațiilor pe care le transmit sunt stimulați în mod constant în poziția verticală de mișcările lente și cu amplitudini reduse, consecutive perturbărilor interne sau externe. Aceste variații posturale minime față de mediu sunt percepute în principal de retină, sistemul otic, bolta plantară și mușchii membrelor inferioare și sunt transmise la sistemul nervos central care organizează și întreține o mișcare continuă de stabilizare. Ca răspuns la perturbările SPF are loc o microdinamică permanentă care prezintă mai multe intrări și o singură ieșire față de activitatea musculară și tonus, numită "cale finală comună". O dereglare a unuia sau a mai multor receptori ai acestui sistem antrenează transmiterea mai multor date eronate la sistemul nervos central. În acest caz se exercită presiuni anormale asupra scheletului și articulațiilor și este nevoie de o activitate suplimentară a întregului organism pentru a se încerca restabilirea echilibrului, ceea ce poate să provoace diferite tulburări fiziologice. Acesta este ceea ce se numește "sindromul de deficiență posturală" (SDP), descris de portughezul Da Cunha în 1979. Sindromul de deficiență posturală se caracterizează printr-o hipertonie paravertebrală unilaterală asociată frecvent cu o bogată simptomatologie.

Pentru a identifica în mod obiectiv acest sindrom, specialiștii din domeniul posturologiei au recurs la un examen simplu care se realizează cu platforma de *stabilometrie*. Datele obținute sunt comparate cu normele stabilite pentru populația normală, după care se efectuează diferite teste pentru a verifica buna funcționare a fiecăruia dintre receptorii sistemului postural fin. Se poate stabili astfel sursa unei tulburări de postură, sau aceasta poate să fie chiar prevenită.

Când terapia nu dă rezultate sau când acestea nu durează în timp se pot utiliza câteva tipare; primul nivel care permite suspectarea SDP este anamneza, asociată cu examenul tulburărilor morfologice.

O anamneză generală bine condusă poate permite frecvent evocarea unui SDP, mai ales când simptomatologia include mai mult de 10 semne, repartizate în principal pe aceeași parte a corpului, iar pacientul se plânge de durere pe o parte. În aceeași măsură, dacă o analiză morfologică arată o înclinare sau o rotație a capului, o basculare a umerilor sau a bazinului, un genuchi, un picior orientat spre interior sau spre exterior sunt semne care pot orienta diagnosticul.

Numai examenul dinamic al tonusului muscular al ansamblului axei corporale va permite să se stabilească dacă pacientul prezintă o disfuncție localizată cu contracturi segmentare sau dacă el prezintă o disfuncție sistematizată, un veritabil SDP cu hipertonie pe o singură parte sau generalizată la ansamblul musculaturii posturale. Posturografia realizează un bilanț funcțional prin evaluarea funcțională globală a echilibrului postural și analitică a receptorilor posturali. Această evaluare se poate face clinic sau paraclinic, cu ajutorul aparatului specific.

Piciorul este situat la baza sistemului de control antigravitațional (sistemul postural sau de echilibru) care permite omului să-și asume postura în poziție verticală și să se deplaseze în spațiu (Fig.2.1).

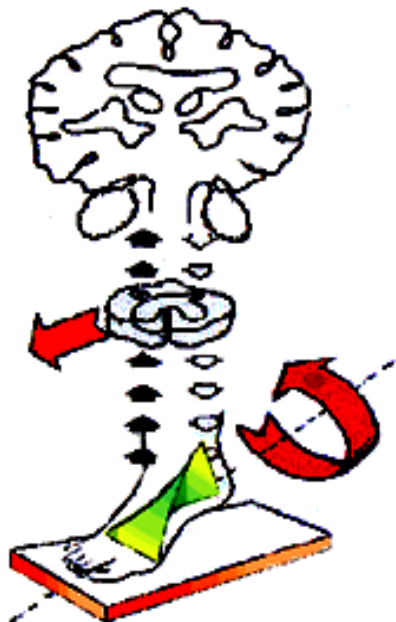


Fig.2.1 - Piciorul: componentă a unui subsistem de configurare spațială numit "complex gleznă-picior ". [132]

Există teste pentru evaluarea rolului picioarelor, test de echilibru (receptori vestibulari), testarea funcției vizuale (receptori oculari); altele pentru a vedea dacă există interferențe ocluzale provenite de la sistemul masticator; teste cutanate, de exemplu în prezența unor cicatrici cutanate; teste pentru evaluarea aparatului musculo-scheletal.

Evaluarea se face și din punct de vedere psihosomatic, pentru a determina rolul aspectelor psihologice asupra posturii. Există poziții clasice corelate cu tulburări emoționale și de personalitate ale indivizilor.

Postura nu e doar rezultanta unor mecanisme neurofiziologice și biomecanice complexe, ci și expresia modului propriu de abordare a realității/vieții, de gestiune a emoțiilor și a relațiilor interpersonale.

Factorii psiho-emoționali pot fi considerați un numitor comun care stau la baza atitudinii posturale în ansamblu. [16,104]

Testul posturodinamic analizează răspunsul mușchilor coloanei vertebrale la propria lor întindere, ceea ce relevă mecanismul reflexului miotatic (reglează și menține tonusul muscular) și hipertoniile paravertebrale unilaterale sau bilaterale ale ansamblului coloanei vertebrale care înseamnă SDP.

Peste o treime din pacienții care se prezintă pentru evaluare posturală au o formă de SDP. Esențial este să se pună în evidență adevăratele SDP. Antecedentele acestor pacienți pot fi uneori prea bogate și foarte vechi; reacțiile lor biomecanice, precum și cele emoționale sunt adeseori intense. [105]

Ele sunt agravate frecvent de tratamente invazive (orteze, lentile corectoare, gutiere etc.), adică tratamente corectoare cu scop mecanic intensiv.

Receptorii

Receptorii sunt structuri excitabile care transformă în impuls nervos energia stimulului detectat și recepționat din interiorul sau exteriorul organismului. Informația purtată de stimul se transformă la nivelul receptorului în informație nervoasă specifică. Majoritatea receptorilor sunt celule epiteliale diferențiate și specializate în celule senzoriale (auditive, gustative, vestibulare). [45,78]

Alți receptori sunt corpusculii senzitivi (receptorii tegumentari, proprioceptorii), precum și terminațiile nervoase libere pot îndeplini rolul de receptori dureroși sau olfactivi. Corpusculii senzitivi sunt microorgane pluricelulare alcătuite din celule, fibre conjunctive și terminații nervoase dendritice.

Pragul de excitabilitate a receptorilor este diferit în funcție de aspectul structural, extinderea suprafeței receptoare, intensitatea și durata stimulului.

Pentru a-și menține postura organismul uman susține un efort neurofiziologic care utilizează diferite resurse:

- exteroceptorii - măsoară interacțiunea individului cu mediul său înconjurător;
- proprioceptorii - măsoară parametri cinemati și dinamici;
- centrii nervoși superiori, cu funcție de procesare și integrare a datelor recepționate de la exteroceptori și proprioceptori.

Receptorii posturali primari cu funcții extero și proprioceptive informează centrii nervoși superiori și induc un răspuns postural specific condiției respective. Picioarul este legat de lanțul cinetic închis; cu celelalte subsisteme contribuie la formarea sistemului corporal (Fig.2.2).

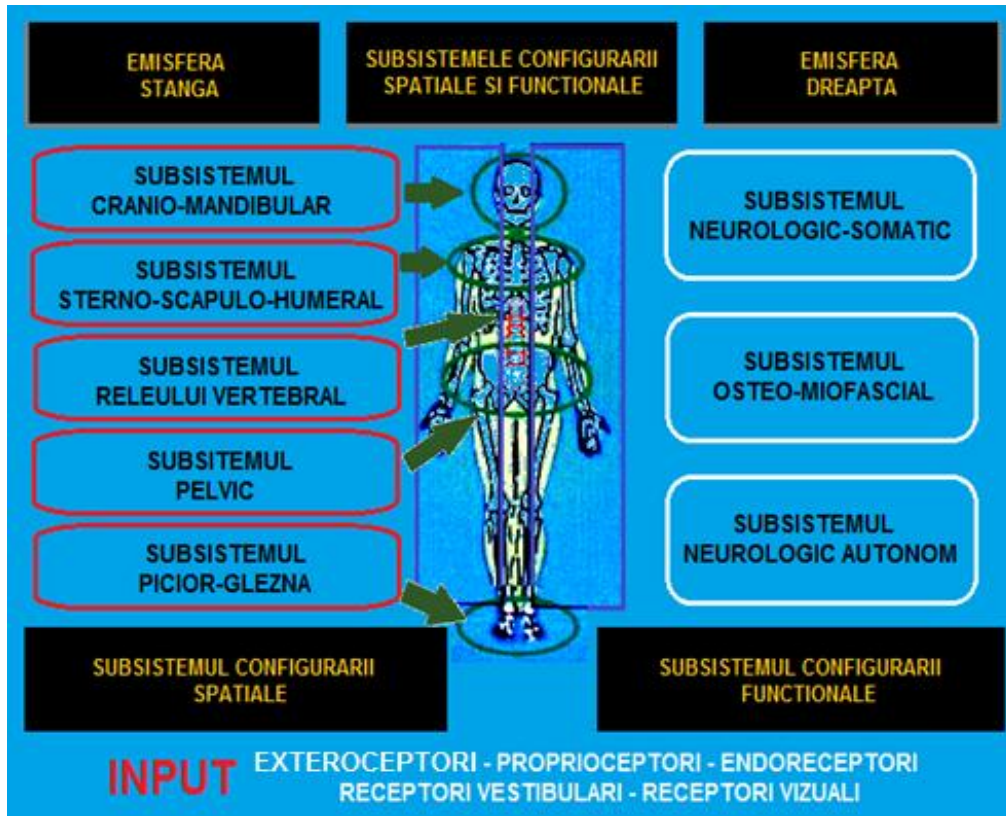


Fig.2.2 - Sistemul corporal.[132]

2.2. Aparatul stomatognatic și postura umană

Pe lângă receptori, sistemul postural utilizează și informațiile care vin de la organele sale senzoriale care sunt reprezentate de ochi, aparatul vestibular din urechea internă, bolta plantară și sistemul stomatognat.

Disfuncțiile cranio-mandibulare sunt tot mai mult incriminate în apariția tulburărilor posturale și spinale. Relația biomecanică dintre cap, coloana cervicală și dinți reprezintă un subiect de amplă dezbateră științifică.

S-a demonstrat existența relațiilor anatomo-funcționale între sistemul stomatognatic și structurile care controlează postura. Un număr în creștere de studii analizează relația dintre postură și ocluzia dentară. [33,51,52]

Numeroase conexiuni anatomice între proprioreceptorii sistemului stomatognat și structurile nervoase sunt implicate în controlul posturii.

Dacă informația proprioceptivă este inadecvată, poziția capului și gâtului poate fi afectată. [35,43]

Sistemul stomatognat reprezintă o unitate funcțională compusă din următoarele structuri:

- Componente scheletice (maxilarul și mandibula);

- Arcadele dentare;
- Mușchii masticatori;
- Articulația temporo-mandibulară (ATM);
- Părți moi (tegumente, mucoase, nervi, vase, glande salivare, etc).

2.2.1. Mandibula

Craniul uman este compus din 22 de oase imobile, cu excepția mandibulei, grupate în două regiuni – neurocraniul și viscerocraniul (Fig.2.3).

Maxilarele, împreună cu alte oase, zigomatice, nazale, lacrimale, palatine și vomer, alcătuiesc scheletul feței - viscerocraniul.

Mandibula are funcție respiratorie, funcție de sprijin pentru sistemul os hioid-trahee și acționează și ca stabilizator al poziției craniului (Fig.2.4). Funcțiile principale ale aparatului stomatognat sunt multiple și complexe: masticatorie, fonetică și respiratorie.

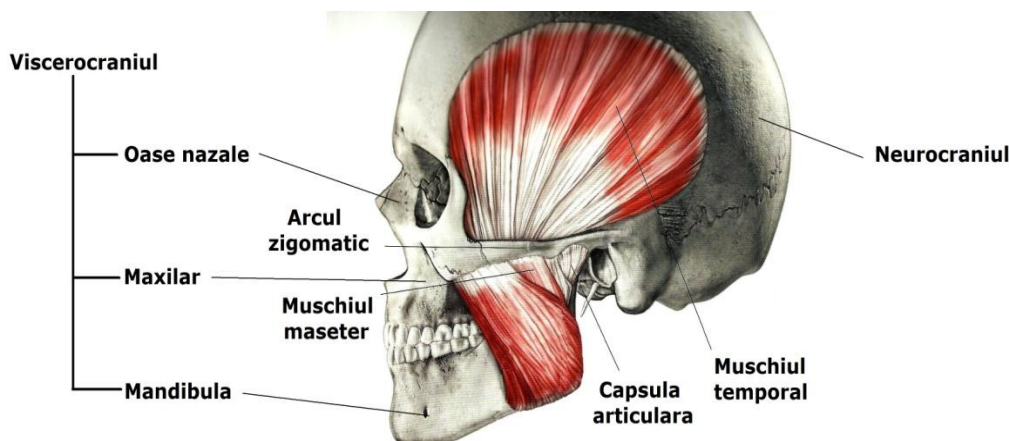


Fig.2.3 - Neurocraniul și viscerocraniul din normă laterală. [2]

Disfuncțiile netratate ale sistemului stomatognat, în special cele ale articulației temporomandibulare și malocuzia prezintă un risc potențial de a dezvolta tulburări posturale.

Tensiunea în sistemul stomatognat poate contribui la un control neural inadecvat al posturii. [33,44,53-59,80,98,99]

Echilibrul dintre mușchii masticatori și cei ai capului și gâtului reprezintă un important factor de stabilitate posturală. Diferite relații intermaxilare implică diferite posturi. În peste 90% din cazuri există o relație strânsă între poziția mandibulară și postura umană, iar tulburările ATM sunt cauzate în principal de condiții patologice musculare. [17,18,41,46]

Alterând propriocepția și aferențele trigeminale, asemenea disfuncții pot provoca cu o acțiune descendentă, un dezechilibru al tuturor lanțurilor musculare posturale. Din moment ce o terapie ocluzală poate induce o reechilibrare a mușchilor masticatori, rezultatul ar îmbunătăți echilibrul postural.

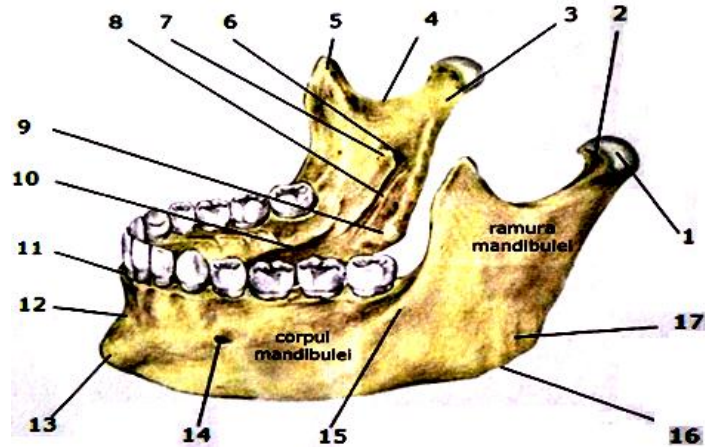


Fig.2.4 - Structura mandibulei. [137]

1 - Condilul mandibular; 2 - Colul mandibulei; 3 - Foseta pterigoidă; 4 - Incizura mandibulei; 5 - Procesul coronoidian; 6 - Gaura mandibulară; 7 - Lingula; 8 - Șanțul milohiodian; 9 - Tuberozitatea pterigoidă; 10 - Linia milohiodiană; 11 - Procesul alveolar cu juga alveloria; 12 - Simfiza mentonieră; 13 - Protuberanța mentonieră; 14 - Gaura mentonieră; 15 - Linia oblică; 16 - Unghiul mandibulei; 17 - Tuberozitatea maseterică.

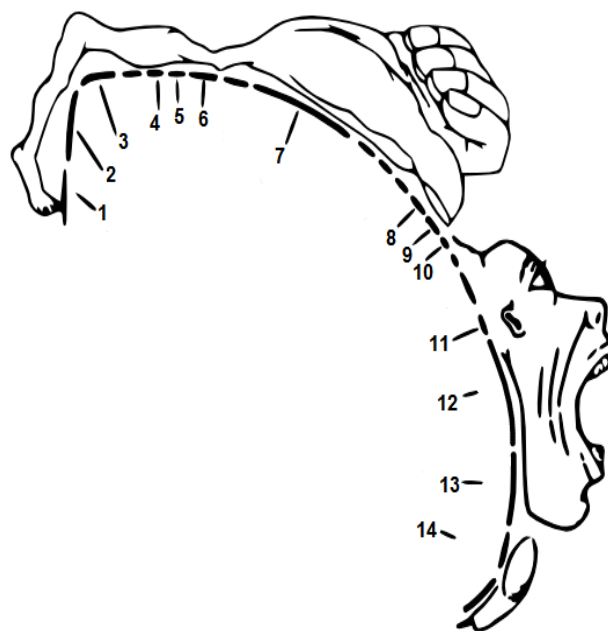


Fig.2.5 - Homunculus cortical.

1 - Degetele piciorului; 2 - Genunchi; 3 - Șold; 4 - Trunchi; 5 - Umăr; 6 - Cot; 7 - Mână; 8 - Indice; 9 - Pollice; 10 - Gât; 11 - față; 12 - Buze; 13 - Mandibulă; 14 - Limbă. [133]

Deși există numeroase studii privind efectul sistemului stomatognat asupra posturii corporale, mecanismele rămân neclare. Implicațiile medicale și dentare ale tulburărilor posturale reprezintă încă un teren deschis cercetărilor, cu atât mai mult cu cât promovează abordarea interdisciplinară a cazurilor. [42,52,109]

Inervația extensivă a sistemului stomatognat se reflectă în reprezentarea amplă a districtului orofacial în ariile senzitive și motorii ale cortexului cerebral (Fig. 2.5). Homunculus este o reprezentare vizuală a conceptului "corpul în creier", respectiv a inervației regiunii anatomice.

2.2.2. Ocluzia și Malocluzia

Postura se poate defini și ca o funcție a organismului de menținere a homeostaziei relațiilor structurilor sale în raport cu mediul extern. Ocluzia dentară este parte a acestui sistem și reprezintă o stație importantă pentru proprioceptori și exteroceptori asigurând o verticalitate corectă. [82,82-88]

Ocluzia funcțională poate fi definită prin câteva criterii. La închiderea gurii, condilii mandibulari se găsesc în *relație centrică*, poziția articulară stabilă, superioară și anterioară în raport cu versantul posterior al tuberculului articular, discul articular fiind interpus corespunzător. În această poziție se stabilesc contacte multiple, stabile, simultane și echilibrate (egale și simetrice) ale tuturor dinților posteriori – *ocluzia de relație centrică*.

Contactele ocluzale stabile, simultane și echilibrate – *poziția de intercuspidare maximă*, asigură transmiterea forțelor în axul lung al dinților posteriori. Dinții frontali au contacte ocluzale mai slabe, fără importanță în menținerea *dimensiunii verticale de ocluzie*. *Dimensiunea verticală de ocluzie* corectă este în acord cu lungimea optimă de contracție a mușchilor ridicători.

Unii pacienți nu îndeplinesc criteriile ocluziei funcționale și prezintă o *ocluzie habituală*, cu mici dizarmonii ocluzale, la care sistemul stomatognat s-a adaptat. În unele cazuri dizarmoniile ocluzale constituie efectul disfuncției temporo-mandibulare – *malocluzia acută*.

Poziția de postură a mandibulei față de baza craniului și maxilar este poziția în care există un echilibru între tonusul mușchilor antagoniști. Contractia tonică este reflexă, antigravitațională, în care unicul stimul care acționează este greutatea mandibulei, care tracționează fusele neuro-musculare. Medicul invită pacientul să-și relaxeze complet mușchii masticatori și faciali, în timp ce buzele se ating ușor.

În aceste condiții de contracție tonică minimă echilibrată a mușchilor ridicători și coborători, mandibula este în *poziția posturală* și permite stabilirea *dimensiunii verticale posturale* (distanța dintre *subnasale* și *gnathion*). [117]

Planul de ocluzie reprezintă curba medie a suprafețelor ocluzale și este definit ca suprafața virtuală determinată prin unirea marginilor incizale cu vârfurile cuspidiene ale dinților laterali.

Planul de ocluzie este caracterizat de:

- curba sagitală a lui von Spee;
- curba transversală a lui Wilson;
- curba frontală.

Analiza ocluzală specifică urmărește depistarea dizarmoniilor ocluzale cu efecte nocive asupra tuturor componentelor sistemului stomatognat. Raporturile dintre arcadele dentare sunt instabile și disarmonice datorită existenței unor

elemente patologice reprezentate de contacte premature și interferențe ocluzale.

Contactul prematur este orice contact al dinților antagoniști care perturbă poziția de intercuspidadă maximă sau ocluzia de relație centrică. Interferențele ocluzale sunt contacte dento-dentare care împiedică mișcările fiziologice, armonioase. Pe lângă metodele clinice de identificare (relevatori colorați), dizarmoniile ocluzale mai pot fi analizate cu sisteme de senzori mecanici. [118]

Sistemul de senzori mecanici al firmei Tekscan (traductori de presiune T-scan II) au în componență o rețea de senzori tensometrici înglobată într-un suport în formă de potcoavă, care se aplică între arcadele dentare și permite o analiză ocluzală de „finețe”. Semnalele colectate sunt digitalizate și afișate sub forma unei „hărți” – *ocluzograma* momentului și amplitudinii forțelor ocluzale. [19]

S-au găsit corelații între diferite morfologii cranio-faciale și atitudinile posturale, cum ar fi: malocuzia de clasa a II-a, postură deplasată anterior și malocluzie clasa a III-a, postură deplasată posterior. [91]

Ocluzia dentară afectează controlul postural în funcție de condițiile statice sau dinamice. Informațiile senzoriale transmise prin intermediul ocluziei au efect în timpul sarcinilor posturale dificile, iar importanța lor crește pe măsură ce alte informații senzoriale sunt insuficiente.

Ocluzia dentară alterează controlul postural numai în condiții dinamice și în absența informațiilor vizuale. [115]

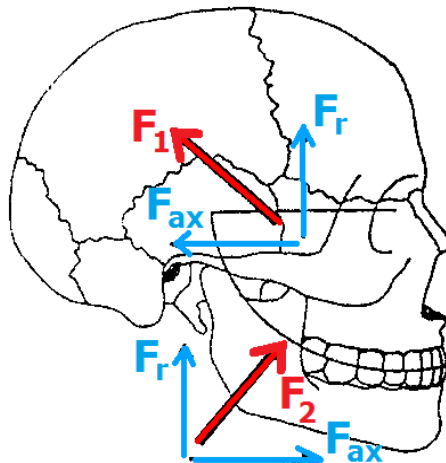


Fig.2.6 - Reprezentarea schematică a curbei sagitale de ocluzie în raport cu direcția forțelor exercitate de maseter și temporal. Săgețile roșii indică direcția și sensul rezultantei forțelor, iar săgețile albastre descompunerea acestora în componente verticale sau orizontale. F_r – forță reactivă; F_{ax} – forță axială. [19]

Majoritatea copiilor prezintă o formă de malocluzie. Medicii trebuie să fie conștienți și preocupați de identificarea cauzelor malocluziei la orice vârstă iar pacienții și părinții lor să primească explicații la nivelul lor de înțelegere, în scopul unei colaborări productive. [67]

În prezent, statisticile arată că mai mult de 75% din copii prezintă malocluzie, evidentă deja în jurul vârstei de 5 ani, a cărei cauză este funcțională, îndeosebi respirația vicioasă orală. Atunci când respirația este nazală, limba se află în poziție corectă și duce la corectarea ocluziei.

Luarea în considerare și a aspectului funcțional în cadrul planului terapeutic, depășește limitările aparatelor ortodontice fixe și pot fi obținute rezultate terapeutice superioare. Prezentarea la medic este de regulă după perioada optimă, la 3-4 ani, când există cel mai mare potențial de creștere. Motivarea pacientului poate face o mare diferență în reușita terapeutică.

Malocluzia și aspectul funcțional sunt în strânsă interrelație. Astfel, se impune o examinare clinică mai atentă a disfuncțiilor țesuturilor moi, pe lângă cele dure dentare.

Acestea pot fi considerate cauza majoră care duce la malocluzie. Aparatele dentare miofuncționale mobile sunt tot mai căutate, ca alternativă la aparatele fixe costisitoare care implică vizite prelungite în cabinetul dentar.

Ele îmbunătățesc dezvoltarea dentară și facială în perioada de creștere până la adolescență, corectând obiceiurile vicioase miofuncționale cât mai precoce posibil. Efectul lor nu urmărește doar alinierea dinților ci și un impact pozitiv pe termen lung asupra dezvoltării sistemului stomatognat. [127]

Personalități marcante ale ortodonției, Angle, Tweed, Frankel și Graber și mai recent John Mew, au evidențiat importanța aspectelor funcționale, precum și influența poziției/posturii mandibulei și a limbii în dezvoltarea maxilarelor și a feței.

Problema recidivelor după suprimarea aparatelor ortodontice fixe este de actualitate. [41,61, 83]

Tratamentul ortodontic precoce poate avea rezultate care nu mai sunt posibile atunci când creșterea facială s-a definitivat. Totodată se reduce complexitatea tratamentului ortodontic și pot fi prevenite tulburări de creștere.

2.2.3. Mușchii masticatori

Mușchii masticatori acționează asupra mandibulei determinând mișcări de ridicare, coborâre, propulsie, retractare și lateralitate (Fig.2.3). Unii dintre acești mușchi se găsesc în regiunea capului iar alții în regiunea gâtului.

Ridicarea mandibulei este asigurată de mușchii temporal și maseter, localizați mai mult sau mai puțin superficial și pterigoidian medial, situat mai profund. Coborârea mandibulei este realizată de mușchii digastric, milohioidian, genihioidian, pterigoidian lateral și pielosul gâtului.

Propulsia mandibulei este asigurată de mușchii pterigoidieni lateral și medial. Retropulsia mandibulei se realizează de mușchii digastric și temporal. Mișcările de lateralitate ale mandibulei sunt asigurate de pterigoidianul lateral și cel medial.

Toate grupele musculare produc forțe care duc la mișcările tridimensionale ale mandibulei. Există un număr infinit de tipare de contracții musculare care pot produce același tip de mișcare, aspect numit redundanță, în biomecanică, practic un mod de asigurare a funcționalității. [63]

Împreună cu dinții, mușchii masticatori sunt determinanți în mișcarea maxilarelor. Dinții joacă un rol important mai ales când furnizează un plan înclinat, păstrând direcția mediană a maxilarelor chiar dacă rezultanta musculară este verticală sau ușor laterală.

Activitatea și coordonarea mușchilor masticatori determină direcția mișcărilor maxilarelor, controlul forței ocluzale și influențează craniul în diverse moduri. Prin acțiunea și inserția lor, apoi prin încărcarea dinților și a ATM, constituie

o provocare biomecanică majoră pentru craniu. Anatomia mușchilor determină și reflectă mișcarea maxilarelor.

Mușchii sau părți din aceștia sunt predominant rotatori deschidere-închidere sau predominant translativi anterior-posterior sau medial-lateral. Acțiunea mușchilor și biomecanica craniului sunt în strânsă interdependență.

În sens evolutiv, mușchii masticatori sunt coadaptați cu morfologia dinților și mișcarea maxilarelor pentru a produce tipare de masticație, influențând creșterea și forța craniului. [49,100]

Tulburările musculare pot declanșa sensibilitate sau chiar durere. *Mialgia* este un simptom important al disfuncției temporo-mandibulare miogene. Hiperactivitatea musculară reflectă o creștere a contracției musculare neasociată unei sarcini funcționale. Ea caracterizează parafuncțiile (bruxism, obiceiuri orale vicioase) cât și creșterea tonusului muscular declanșată de stress, dizarmonii ocluzale acute, supra sau subevaluarea dimensiunii verticale de ocluzie, postura incorectă, etc. Palparea mușchiului relaxat identifică sensibilitatea/durerea musculară dar și zonele *trigger* active caracteristice durerii miofasciale. Zonele trigger miofasciale pot determina durere, manifestată ca odontalgie (mușchiul temporal la nivelul dinților maxilari, maseterul la dinții laterali).

Analiza posturală urmărește identificarea poziției anterioare a capului, postură deficitară observată mai ales la cei care lucrează mult la calculator și la medicii dentiști.

Diferite moduri de a interpreta raportul postural sub efectul gravitației: în fiecare dintre posturi sunt activate aceleași lanțuri funcționale pentru a garanta echilibrul, dar cu diferite mecanisme de compensare: 1 – dorsal; 2 – abdominal; 3 – psoas. (Fig.2.7.b)

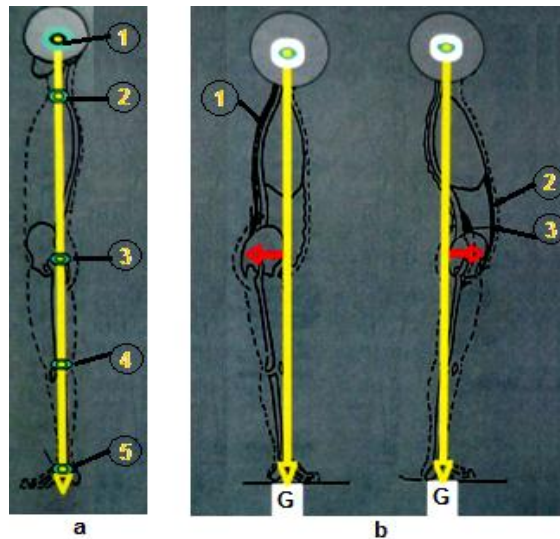


Fig.2.7 - Alinierea posturală. [81]

Alinierea posturală ideală în bipodalitate este următoarea: 1 – conductul auditiv extern (CAE); 2 – fața anterioară a humerusului; 3 – marele trocanter; 4 – fața anterioară a condilului femural; 5 – linia Chopart (linia de demarcație între vârful piciorului și bolta plantară, articulația tarsală, între talus și calcaneus).

În mod normal, din profil, CAE se va găsi pe aceeași verticală cu mijlocul umărului, cu șoldul și genunchiul. Poziția anterioară a capului se caracterizează prin plasarea CAE anterior de linia respectivă. Deplasându-se anterior, craniul își modifică centrul de greutate, ceea ce conduce la extensia compensatorie a coloanei cervicale superioare și la flexia celei inferioare.

Consecutiv se instalează suprasolicitarea și disfuncția mușchilor cervicali (mușchii sternocleidomastoidian, trapez, cervicali posteriori). Mușchii cervicali prezintă corelații morfo-funcționale strânse cu mușchii masticatori și ATM. [19]

2.2.4. Articulația temporo-mandibulară (ATM)

ATM este singura articulație mobilă a capului, care unește mandibula de craniu și permite mișcările acesteia. ATM aparține aparatului dentomaxilar, este cea mai complexă articulație a corpului uman, cea mai folosită și evoluată articulație, reprezentând și un centru de creștere a osului mandibular.

Toate celelalte oase ale capului se unesc prin articulații fibroase, fixe (sinartroze). Patologia ATM se clasifică în extraarticulară (sindromul ocluzo-articular) și intraarticulară: afecțiuni congenitale (aplazii, hipoplazii condiliene), afecțiuni traumatice (plăgi, contuzii, luxații) artrite, constricție mandibulară, anchiloză, tumori, afecțiuni degenerative (artroze).

În sindromul ocluzo-articular sau algo-disfuncțional, durerile iradiază cervico-facial și sunt acompaniate de cracmente, spasme și hipotonii musculare. Obiceiurile vicioase (bruxism) suprasolicită mușchii masticatori și limitează funcționalitatea ATM. Zgomotele articulare (cracmente, crepitații) sunt consecința unor modificări structurale articulare degenerative. [100,109]

Suprafețele articulare sunt fosa mandibulară și condilul mandibulei. Fosa mandibulară cu tuberculul articular aparțin osului temporal și are forma unei scobituri ovoidale. Fisura lui Glasser împarte fosa într-o porțiune anterioară articulară și una posterioară extraarticulară.

Tuberculul articular se găsește anterior de fosă și este constituit de rădăcina transversală a arcadei temporozigomatice. Oblicitatea pantei tuberculului articular are importanță în ghidarea mișcărilor mandibulei.

Cele două suprafețe articulare care compun ATM sunt *condilul mandibular* și *cavitatea glenoidă* sunt incongruente (convexe) și de aceea au între ele un *menisc* de formă eliptică.

Condilul mandibular și cavitatea glenoidă sunt unite printr-o *capsulă articulară*, întărită prin două *ligamente laterale*: intern și extern.

Meniscul aderă la fața interioară a capsulei care este acoperită de membrana sinovială. Zonele capsulare sunt cele mai solicitate de forțele mecanice. (Fig.2.8) În ele se găsesc proprioceptori (Golgi-Manzoni, Krause, Ruffini, Vater-Pacini).

Compartimentul inferior al ATM permite rotația condilului în jurul unei axe de rotație, în timpul primei faze de deschidere a gurii până la o distanță interincisivă de 20 mm. După acest punct întreg aparatul articular condil – menisc face o mișcare de translație antero-inferioară pentru a continua deschiderea gurii până la maxim 45-55 mm. [28]

Articulațiile prezintă mișcări în jurul unor axe *biomecanice*, care corespund libertății de mișcare a articulației.

La o articulație mobilă, una din suprafețele articulare se mișcă, cealaltă este imobilă. Axa biomecanică reprezintă linia situată într-un anumit plan, în jurul căreia una din componentele osoase se deplasează fața de cealaltă.

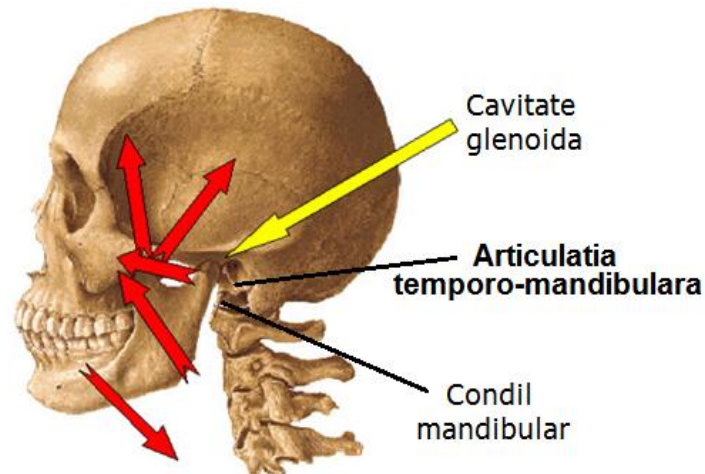


Fig.2.8 - ATM este supusă celor mai complexe forțe datorate parafuncțiilor masticatorii. [136]

Mișcările articulațiilor pot fi active sau pasive.

Mișcările active sunt executate de forțe exterioare cu ajutorul mușchilor.

Mișcările pasive sunt executate de o forță exterioară, de obicei mâna examinatorului, la care subiectul participă activ, dar nu își contractă mușchii. ATM are trei grade de libertate, în cadrul cărora mandibula poate efectua următoarele mișcări: coborâre – ridicare, proiecție înainte – înapoi și lateralitate.

Pârghiile sunt dispozitive mecanice simple menite să transmită acțiunea unei forțe, având următoarele componente: brațul pârghiei (bară rigidă), punct de sprijin, punct de aplicație a forței, punct de rezistență.

Pârghiile în corpul uman

Pârghia de gradul I este o pârghie de echilibru care realizează echilibrul static. Reacțiunea este greutatea corpului sau a segmentului care se deplasează, iar forța activă este reprezentată de inserția pe segmentul osos a mușchiului care realizează mișcarea (ex. capul în echilibru pe coloana vertebrală). (Fig.2.9.a)

Pârghia de gradul II este o pârghie de forță, de obicei în formă de pană, cu rolul de a multiplica forța (ex. caninii). (Fig.2.9.b)

Pârghia de gradul III este o pârghie de deplasare care utilizează o forță mare pentru a învinge o forță mică, deplasând mult punctul de aplicație al reacțiunii (ex. antebrațul în flexie).

Acest tip de pârghie este cel mai des întâlnit în corpul uman (Fig.2.9.c). În organismul uman, aceeași pârghie poate să-și schimbe gradul în raport cu poziția care acționează segmentele: antebrațul în mișcarea de flexie se comportă ca o pârghie de gradul III, iar în poziția de stând pe mâini, ca o pârghie de gradul I. [48]

La nivelul ATM, transmiterea acțiunii forței se face printr-o pârghie de gradul III. ATM este o articulație extrem de complexă. Parte integrantă din funcția cervicală (mandibula pivotază în jurul vertebrelor C1 și C2) ATM are conexiuni musculare și

ligamentare cu regiunea cervicală, formând un complex funcțional denumit „sistem cranio-cervico-mandibular”.

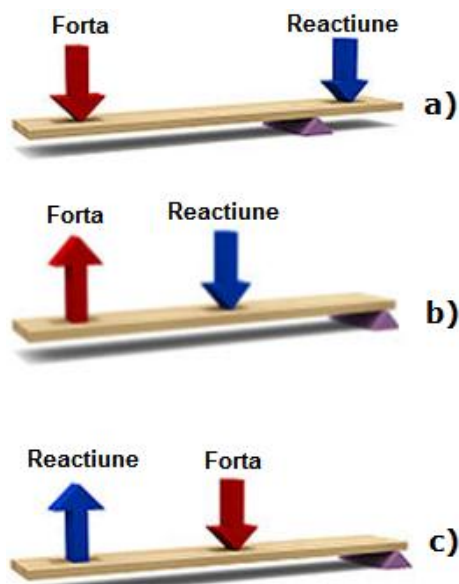


Fig.2.9 - Pârghiile în corpul uman. [129]

Principalele tulburări cranio-cervico-mandibulare sunt tulburările ATM, care afectează inclusiv mușchii masticatori și structurile înconjurătoare. În aceste cazuri, durerea uni sau bilaterală este principalul simptom, declanșat de mișcările gurii și palpare. Durerea poate iradia în regiunea temporală și cervicală. [7]

2.2.5. Disfuncțiile ATM

Disfuncția ATM rămâne deseori nediagnosticată deși se asociază aproape întotdeauna cu disfuncțiile părților moi.

În situația când apar presiuni excesive în articulație, datorate dizarmoniilor dentare, musculare și maxilare, vorbim de disfuncția ATM inițial descrisă de Costen JB în 1934, care a prezentat relația dintre sindromul dureros otic, cefalee și durerea cervicală cauzate de tulburările articulare consecutive malocluziei. Simptomatologia atipică, diferită de la pacient la pacient, conduce deseori la interpretări diagnostice eronate. [30]

Disfuncția ATM este de fapt o disfuncție cranio-cervico-mandibulară, cu simptomatologie care aparține capului, gâtului și umerilor, motiv pentru care se pretează la confuzii diagnostice pentru medicul dentist, deși tratamentul este de fapt la nivelul cavității orale și vizează corectarea obiceiurilor vicioase miofuncționale. Modificările patologice nu sunt la nivelul articulației ci mai mult țin de musculatura cranio-mandibulară. Majoritatea pacienților prezintă simptome intracapsulare (maxilare, osoase) și extracapsulare (musculare) uneori dificil de diagnosticat.

Orice traumă a articulației poate cauza o disfuncție ATM, în special retropulsia mandibulei dată de obiceiurile miofuncționale vicioase și hiperactivitatea

musculară. Acești pacienți au și o postură deficitară. Dr. Mariano Rocabado, specialist în disfuncții craniomandibulare și craniovertebrale a fost primul care a sesizat asocierea dintre malocluzia clasa a II-a, caracterizată prin relația distalizată mandibulară, poziția anterioară a capului și problemele cranio-cervicale.

Poziția anterioară a capului determină curbarea coloanei cervicale și tensionarea musculaturii. Diferite posturi cranio-faciale influențează deschiderea maximă a gurii și valorile pragului durerii ATM și musculaturii masticatorii. Astfel, între regiunea cranio-cervicală și dinamica ATM există o relația biomecanică, precum și procesare nociceptivă trigeminală în diferite posturi cranio-cervicale. [73,75]

Pe lângă o postură corporală, putem vorbi de postura capului, a mandibulei, a hioidului, a limbii și o postură orală. [79,99]

Posturile orale deficitare s-au dovedit a fi dificil de măsurat, diagnosticat sau tratat și în aceste cazuri ar fi mai potrivit de luat în considerare cercetările fundamentale decât evidențele clinice.

Factorii de mediu afectează postura orală de repaus, determinând o creștere verticală a scheletului osos și consecutiv malocluzie dentară determinată de pattern-uri musculare, în primul rând ale limbii. [83]

Traumatismele feței, în special cele soldate cu fracturi ale oaselor maxilare, pot avea un impact major asupra posturii corpului, prin dezechilibrele care se produc la nivelul sistemului stomatognat aflat în cadrul complexului cranio-cervico-mandibular.

Deplasările fragmentelor osoase fracturate, uneori destul de ample, se reflectă clinic în tulburări majore de ocluzie, care perturbă actul masticator și funcționalitatea ATM. Conexiunile musculare și ligamentare cu coloana vertebrală, fac inevitabilă apariția solicitărilor patologice la acest nivel.

Relația dintre ocluzie, sistem stomatognat și postura umană a fost demonstrată în numeroase studii. [17,34,35,39,42,116]

Datorită faptului că cele mai mari modificări de ocluzie se produc în cazul fracturilor maxilare, în special a celor mandibulare, prin deplasarea fragmentelor osoase, studierea influenței acestora asupra echilibrului postural poate aduce beneficii în planificarea tratamentului și prevenirea permanentizării unor modificări compensatorii care să conducă la instalarea unor sindroame dureroase cronice.

2.2.6. Relația dintre vârstă și postura umană

Postura este o funcție superdezvoltată a speciei umane, forțată să evolueze datorită adoptării poziției bipede și să dezvolte un sistem de control sofisticat. Complexitatea acestui sistem este dovedită și de faptul că poziția verticală bipedă nu este prezentă la naștere ci se achiziționează în cursul vieții. [1]

Înaintarea în vârstă aduce cu ea alterarea poziției verticale, eficiența sistemului de control postural diminuându-se gradual, dar constant. În timpul mișcării, postura și echilibrul sunt stabilizate prin ajustări posturale anticipate, învățate de-a lungul copilăriei sau prin antrenamente pentru diferite sarcini. Ca și reflexele somatice, ajustările posturale se îmbunătățesc prin exercițiu și învățare.

În comparație cu tinerii, persoanele în vârstă tind să aibă răspunsuri posturale amplificate la situații care sunt percepute ca potențial destabilizante. [74]

Activitatea fizică s-a dovedit a îmbunătăți calitatea controlului postural la indivizii vârstnici, reducând numărul căderilor accidentale. Avansarea în vârstă se

asociază cu deteriorarea aferențelor vizuale, proprioceptive și exteroceptive, procesarea centrală și a efectorilor musculari.

Congruența indicilor senzoriale se compromise, iar perturbațiile consecutive conduc la modificarea ierarhiei cu o creștere în dependența de aferențele vizuale. Aceste modificări posturale produc o inversare în secvența activării musculare și o creștere a timpului de reacție. Toate aceste deficite în reglarea posturală asociate vârstei înaintate au ca rezultat un echilibru precar cu căderi accidentale, fapt care reprezintă o reală problemă de sănătate publică. [44,106]

2.2.7. Tratament – „resetare posturală”

Posturologia depistează cauzele tulburărilor și în consecință nu este o terapie simptomatică, făcând posibilă adoptarea precoce a tehnicilor de prevenție a suferinței bolnavului. Strategia terapeutică posturologică are ca scop reechilibrarea și optimizarea sistemului tonic postural prin identificarea cauzelor ce au condus la o situație disfuncțională. Dezechilibrele posturale apar când unul sau mai mulți receptori nu trimit informații corecte. Dacă acești receptori sunt reprogramați, se poate obține reglarea posturală, se pot trata și preveni leziunile. De multe ori reprogramarea posturală se realizează prin exerciții oculare, miogimnastică orală sau prin exerciții de respirație și utilizarea ortezelor posturale. [87]

Interrelația dintre diferitele organe impune clinicianului abordarea pacientului în globalitatea sa, nu doar în funcție de o singură specialitate terapeutică. Asta nu presupune ca practicianul să cunoască totul pentru a asigura îngrijirea pacientului, ci devine indispensabilă cunoașterea semnelor clinice majore care-i permit clinicianului ca în cadrul diagnosticului să direcționeze pacientul către alți specialiști cu care trebuie să colaboreze în scopul eficientizării prescripției terapeutice. De exemplu, dacă durerea cervicală e cauzată de o problemă dento-maxilară, fiziokinetoterapia cervicală nu poate rezolva afecțiunea radical, deoarece nu acționează la nivelul cauzelor. Se impune atunci o reabilitare ocluzo-posturală specifică pentru rearmonizarea raporturilor dintre dinți, mandibulă și coloana cervicală.

Simptomele clinice se manifestă atunci când postura vicioasă prelungită are efect asupra mecanicii corporale. Recuperarea postoperatorie oro-maxilo-facială complexă ar trebui să includă o secțiune de evaluare a echilibrului și terapie posturală specifică de recuperare care ar preveni instalarea unor sindroame dureroase dificil de tratat ulterior. [9]

2.3. Aspecte biomecanice ale sistemului masticator

Modelarea dinamică a structurilor anatomice pe care se inseră mușchi oferă un mod de a înțelege mai bine sistemele biomecanice complexe. Modele extinse ale biomecanicii oro-faciale vor îmbunătăți înțelegerea unor disfuncții ca apneea obstructivă, disfagiile, deficitele postchirurgicale. [108,124]

Biomecanica maxilarelor umane, dificil de studiat direct, a fost mai bine înțeleasă prin modelare computerizată, care a devenit un mijloc de investigare important. Modelele maxilarelor umane sunt dificil de validat datorită limitărilor tehnice și etice ale explorărilor mușchilor și articulațiilor. [31,37,38]

Masticația este o funcție esențială care poate fi compromisă în diverse situații patologice: malformații congenitale, operații și reconstrucții maxilo-faciale.

În medie ciclul masticator durează 0,7s (Ahlgren, 1976). Mișcările maxilare în timpul masticației sunt parte componentă a unui lanț cinetic, sincronizat cu mișcările ritmice ale hioidului, limbii și palatului moale. Mișcările hioidului sunt în sus și înainte față de planul ocluzal și se întoarce la poziția inițială puțin înainte de sfârșitul deschiderii gurii. [47]

Sistemul masticator este un sistem anatomic și funcțional cu grupuri musculare multiple care interacționează pentru a produce forțe asupra osului mandibular restricționate de articulațiile temporo-mandibulare, contacte dentare multiple și țesuturi moi.

Biomecanica maxilarelor este dificil de măsurat direct datorită complexității sale, multiplelor variabile fizice și fiziologice implicate, experimentele umane și animale fiind limitate. Modelele clarifică relațiile dintre structură și funcții, fiind folosite cu succes în alte regiuni musculo-scheletale; se pot utiliza date incomplete, iar pentru variabilele care lipsesc se pot calcula valori ipotetice. [76,77,88]

În concluzie, dinamica masticatorie este dificil de analizat din următoarele motive:

- complexitatea intrinsecă a sistemului;
- numărul mare de mușchi de diferite forme și mărimi, cu arhitectură complexă;
- ATM, două articulații incongruente foarte complexe;
- discul articular cartilagos intraarticular se poate mișca mai mult sau mai puțin liber între cele două suprafețe articulare, influențând și fiind influențat de mișcările maxilare;
- o parte din mușchi sunt profunzi și parțial acoperiți de structuri osoase, nefiind accesibili explorărilor (ex. electromiogramă - EMG).

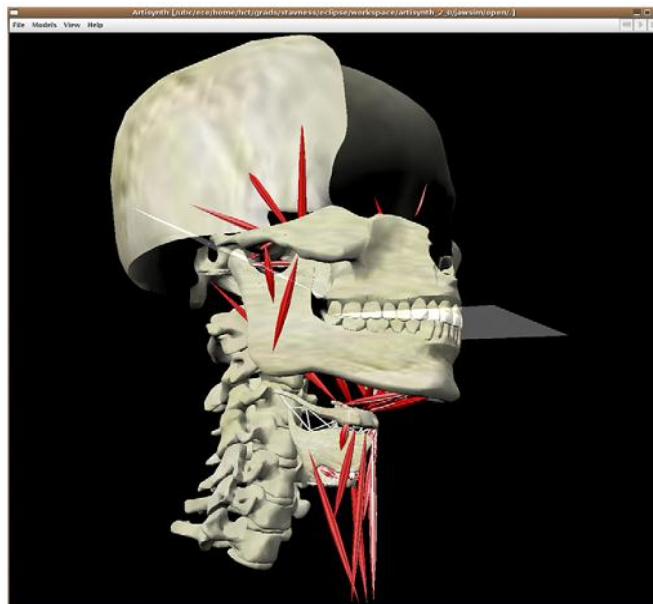


Fig.2.10 - Model dinamic al maxilarelor. [125]

Modelele reprezintă instrumente utile pentru stabilirea relațiilor cauzale și modalități de înțelegere a patologiei structurale și funcționale, precum și a planificării tratamentului în general și individual.

Multe modele maxilare simulează condiții statice cu scopul de a demonstra distribuția stresului regional (Fig.2.10). Au fost deasemenea concepute și modelele dinamice, oferind abordări sofisticate de simulare și analiză tridimensională.

Acestea permit demontarea sistemului și explorarea factorilor care modelează mișcarea maxilarelor, constituind poate singura modalitate practică pentru a studia variabile precum tensiunile musculare și sarcinile articulare la oameni.

Deasemenea pot prevedea rezultatele probabile ale unei intervenții. Conceptual, modelele sunt ipoteze, corectitudinea lor urmând a fi confirmată prin experimente, înainte ca predicțiile să fie acceptate de cercetători și clinicieni. [96]

2.4. Caracteristici biomecanice ale țesuturilor maxilo-faciale

Într-o analiză biomecanică pot exista următoarele categorii de caracteristici:

- a. de material – rezistența, deformabilitatea biomaterialului etc;
- b. structurale și artrologice – tipul legăturii, gradul de libertate etc;
- c. cinematice – poziția, viteza, accelerația;
- d. dinamice – scalare (lucrul mecanic și puterea mecanică) și vectoriale (forța și momentul forței), acestea regăsindu-se în: caracteristicile cinetice – impulsul, momentul cinetic și energia cinetică; cinetostatice – forța și momentul de legătură; inerțiale – masa și momentul de inerție.

Unele dintre aceste caracteristici biomecanice trebuie cunoscute ca date inițiale, iar altele, se determină în urma analizei biomecanice de rezistența a biomaterialelor, structurale (cu privire, de exemplu, la lanțuri cinematice), artrologice, cinematice, cinetostatice, dinamice etc.

Nu este obligatoriu ca toate aceste caracteristici să fie cunoscute sau determinate în urma unei analize biomecanice a unui sistem dat, aceasta depinzând de tipul analizei efectuate. [131]

Sistemul osteo-articular uman este compus din oase, articulații și ligamente, îndeplinind următoarele funcții principale:

- de *susținere*, asigurând suportul rigid al țesuturilor moi;
- de *protecție*, asigurând protecția mecanică a unor organe vitale ale organismului;
- de *locomoție*, prin realizarea sistemelor de pârghii osoase cu ajutorul cărora mușchii pun în mișcare corpul uman;
- de *hematopoeză*, adică de formare a elementelor figurate din sângele circulant (eritrocitele, leucocitele și trombocitele);
- de *depozit de săruri minerale*, adică de păstrare a unei rezerve de săruri minerale (Ca, P) pentru organism.

Aspectele anatomo-fiziologice și biomecanice ale elementelor care compun sistemul stomatognat conturează caracteristicile biomecanice ale aparatului dento-maxilar în relație cu postura întregului corp uman.

2.5. Metode și mijloace de investigare posturală

Baropodometrul electronic modular (BEM) este un sistem ultramodern neinvaziv de diagnostic, disponibil în două versiuni BPEX pentru un diagnostic specific al piciorului și Multisensor pentru diagnostic clinic general.

Design-ul, compus dintr-o serie de module, este o invenție unică și ultramodernă putând efectua diferite teste în lungime și în lățime, care pot fi combinate și adaptate conform nevoilor pacientului.

Baropodometrul este alcătuit dintr-o platformă de detectare cu o lungime de 160cm și 40cm lățime, conținând 25,600 de senzori de presiune, alături de un sistem optoelectronic format dintr-o cameră video cu infraroșu.



Fig.2.11 - Baropodometrul cu camera video cu infraroșu. [135]

În cadrul analizei biometrice digitizate, pacientul trebuie să stea pe placa de presiune și să rămână într-o poziție naturală și relaxat timp de 5 secunde pentru evaluarea ortostatică, exprimată ca un calcul al mediei oscilațiilor pacientului.

Pacientul este apoi instruit să meargă și să se întoarcă de-a lungul plăcii de presiune pentru o testare dinamică. Datele sunt achiziționate imediat ce pacientul face contact cu platforma de presiune, până când el / ea părăsește platforma. Examinarea se repetă 3/4 ori, pentru a identifica tulburări de mers sau echilibru.

Elaborarea fiecărui ciclu de mers implică monitorizarea punctelor de presiune centrale ale piciorului, sarcina de suprafață și valori numerice. Reacția solului și centrul de greutate sunt de asemenea înregistrate.

Testul de echilibru se efectuează în picioare pe placa de presiune și implică teste de stabilometrie la 30 de grade poziție monopod și biped, cu ochii deschis și închis. Datele obținute despre oscilațiile antero-posterioare și laterale ale pacientului, identifică orice tulburări ale ochilor sau al sistemului vestibular.

EBM a fost folosit în numeroase studii care au permis evaluarea influenței relației dintre afecțiunile sistemului stomatognat și arcul plantar în timpul mersului, justificând utilizarea echipamentelor de monitorizare a posturii în tratamentul anomaliilor maxilare. [32]

Tehnologia baropodometrică este tot mai folosită în alte specialități, ca oftalmologie și neurologie, la pacienți cu dizabilități și hemipareze, unde detectează diferite profile de distribuție a tensiunilor, utile programelor terapeutice și în cercetare. [13,14]

Poziția mandibulei ar influența în special aria de balans, iar influența clinică dintre sistemul stomatognat și postură este importantă în abordările gnatoposturale de tratament a simptomatologiei dureroase musculare a trunchiului. [10]

Termografia în medicină este o tehnică noninvazivă, non contact care se încadrează în categoria metodelor de diagnostic pasiv, la care aparatul nu acționează deloc asupra pacientului, ci doar primește informații de la acesta.

Termografia presupune preluarea imaginii termice a unui obiect sau a corpului uman și convertirea imaginii obținute în frecvențe din domeniul vizibil, pentru care ochiul prezintă sensibilitate spectrală. Imaginea care rezultă este digitală și necesită un echipament de preluare, prelucrare și stocare a informației.

Termografia computerizată este o metodă funcțională de diagnostic imagistic din familia EKG, EEG, EMG, care explorează termogeneza celulelor umane în condiții de sănătate și boală. Imagistica cu raze infraroșii este utilizată de câteva decade pentru a monitoriza distribuția temperaturii la suprafața corpului. [112,113]

Camerele digitale cu infraroșii s-au îmbunătățit considerabil în ceea ce privește rezoluția spațială și termală, iar analiza computerizată a imaginilor se face cu softuri de compatibilizare cu sisteme de calcul comune, de tip PC.

Dacă termogramele sunt capturate în condiții controlate, fără influențe ale surselor termice din mediul înconjurător, pot fi folosite cu succes în diagnosticarea și monitorizarea bolilor în specialități ca neurologie, boli vasculare, boli reumatice, oncologie și chirurgie. [50, 62]

2.6. Justificarea alegerii temei. Influența patologiei maxilo-faciale asupra posturii umane

Tema de cercetare din cadrul tezei de doctorat intitulată „EVALUAREA BIOPOSTURALĂ A UNOR PARAMETRI BIOMECANICI ȘI APLICAȚII CLINICE ÎN CHIRURGIA ORO-MAXILO-FACIALĂ” își propune studiul și identificarea unor corelații între sistemul stomatognat, relația mandibulo-craniană și comportamentul spațial pe care corpul uman și-l asumă în mediul ambiant. Se consideră că dinții au rol de senzori posturali informând creierul asupra poziției spațiale a capului pe căi aferente ale nervului trigemen, considerat nerv postural. [M. Clauzade].

Sindroame dureroase cervicale, lombare sau cele ale picioarelor pot fi încadrate într-o perspectivă nouă, prin identificarea unor cauze funcționale, aparent neasociate și frecvent neluate în considerare. Dintre aceste cauze fac parte dezechilibrele musculare, respectiv alterări ale posturii, când sistemul de stabilitate verticală antigravitațională nu funcționează normal.

Noutatea tezei de doctorat provine din:

1. Utilizarea de metode de diagnostic complet noninvazive, complementare metodelor clasice (RX, RMN, CT) cu softuri specializate specifice;
2. Pe plan național reprezintă metode diagnostice de avangardă, folosite în special de școala italiană și franceză;
3. Abordarea complexă a temei propuse, prin evaluări experimentale, analitice, modelare și simulare pentru certificarea rezultatelor;

4. Studiul biomecanic și modelarea mecanică posturografică.

Pe baza unor teste diagnostice noi și neinvazive pot fi propuse terapii personalizate eficiente, care reduc rata recidivelor sau permanentizarea unor disfuncții. Evaluarea tulburărilor de echilibru impune astfel o colaborare inter și transdisciplinară, pentru un concept terapeutic unitar în beneficiul sistemului sănătății publice.

În cadrul Universității „Politehnica” Timișoara, Departamentul de Mecatronică, funcționează un centru de cercetare transdisciplinară unde colaborarea de tradiție între Universitatea Politehnica Timișoara și Universitatea de Medicină și Farmacie „Victor Babeș” Timișoara s-a concretizat de-a lungul anilor în proiecte și publicații științifice numeroase (ERGINDEPEND, Ergoingineria locului de muncă - Aplicații în Medicina Dentară și proiecte POSDRU, 2007-2013).

Unitățile de cercetare-dezvoltare cu preocupări în acest domeniu sunt reprezentate de Universitățile Politehnica și Medicină, disciplina de Ergonomie fiind introdusă relativ recent în programa acestora, ca urmare a recomandărilor europene în domeniul educației. Studiile medicale s-au efectuat pe cazuri clinice din cadrul Clinicii de Chirurgie Orală și Maxilo-Facială din Timișoara.

Cazurile clinice oferă posibilitatea de a contribui concret la o analiză obiectivă ulterioară în Departamentul de Mecatronică al Universității Politehnica Timișoara, care beneficiază de infrastructura modernă (aparatură, soft-uri specializate, bibliotecă universitară) și dotări ce fac posibile studii transdisciplinare.

Performanțele mecanice ale ființelor vii necesită evaluare obiectivă și numerică în medicină, fizioterapie și alte științe motorii, cum este sportul și kinetoterapie.

Biomecanica se ocupă cu studiul mecanicii clasice aplicate funcțiilor fiziologice în cadrul sistemelor biologice, a principiilor anatomice ale mișcării ființelor vii. Biomecanica este larg aplicată în sport și gimnastică, analizând postura și mișcările corpului uman, respectiv aplicarea legilor mecanicii structurilor vii. [4]

Utilitatea testelor clinice care se bazează pe principii biomecanice a apărut tot mai pregnant în urma a mulți ani de cercetări clinice și experimentale transdisciplinare. Manifestări clinice aparent neasociate pot fi consecința unei disfuncții a sistemului proprioceptiv.

Pentru evaluarea tulburărilor de echilibru se impune un program interdisciplinar, de integrare a diagnosticului clinico-funcțional cu măsurători ce pot valida soluții tehnologice, cu analiza diferitelor tipuri de patologie, precum și studiul aspectelor biomecanice relevante pentru diagnostic.

Biomecanica își găsește aplicații în medicină, sport și reabilitare, ajutând specialiștii să stabilească cauzele și amploarea afecțiunilor, metode de prevenire, protocoale de recuperare și monitorizarea rezultatelor terapeutice. Postura poate fi influențată de mai mulți factori, printre care și masa corpului. Intervențiile chirurgicale oro-maxilo-faciale determină o schimbare bruscă în masa corpului.

Dezechilibrele posturale apar când receptorii nu trimit informații corecte. Consecințele conectării sistemului proprioceptiv la o poziție vicioasă sistematică a corpului uman sunt disfuncțiile care pot afecta toate părțile corpului uman și trebuie diferențiate de leziunile organice, simptomele fiind asemănătoare.

Multe disfuncții proprioceptive sunt ignorate în stabilirea diagnosticului și a planului terapeutic, cu consecințe agravante. Acest grup de simptome au fost descrise în 1979 de portughezul Da Cunha ca Postural Defficiency Syndroma - PDS. Ignorarea simptomelor funcționale și efectuarea unor intervenții terapeutice invazive, agravează condiția bolnavului. Identificarea și tratarea cauzelor acestor

simptome conduc la terapie eficientă. Disfuncțiile proprioceptive includ durerea musculară, vertijul, dispraxia, dislexia și migrena. [36]

Controlul fin al posturii ortostatice este rodul numeroșilor factori biomecanici, senzoriali și neuropsihologici. Propriocepția umană are la bază informațiile de poziție și de mișcare furnizate de proprioceptorii care se găsesc la nivelul aparatului locomotor (oase, mușchi, articulații). Proprioceptorii împreună cu analizatorii vizuali și acustico-vestibulari au rol determinant în orientare, poziție, echilibru și mișcare. Dereglările percepției proprioceptive pot explica simptomele pacienților posturali cu sindroame dureroase inexplicabile. [45]

Testele clinice care se bazează pe principii biomecanice sunt total neinvazive și deosebit de utile în diagnosticul sindroamelor dureroase cranio-faciale de origine musculo-scheletală.

Evaluarea bioposturală constă în examinarea unui pacient pentru a colecta informații cu privire la presiunea piciorului (test baropodometric), organism (test morfologic) și echilibru (test stabilometric). S-a constatat că în prezent nu există studii publicate privind influența operațiilor oro-maxilo-faciale asupra posturii umane și aplicații clinice privind această temă. [5]

Studiul prezentat în această teză urmărește identificarea și completarea datelor existente în acest sens, cu scopul unei mai bune înțelegeri a cauzelor patologice folosind studiul și observația posturii întregului organism, pentru a analiza cauzele primare care provoacă dureri și sindroame dureroase cranio-faciale.

3. Analiza influenței intervențiilor chirurgicale orale și maxilo-faciale în corecția deficiențelor posturale prin metode experimentale

Modelarea posturală este o provocare datorită complexității sale, fiind combinate structuri deformabile și rigide. Tradițional, structurile deformabile sunt modelate folosind tehnicile de model cu element finit (FEM), în timp ce structurile rigide sunt modelate folosind abordări multicorpuri (multibody). Pachetele comerciale de simulare disponibile sunt orientate spre una din abordări (ANSYS și SIMULA pentru FEM, SolidWorks și ADAMS pentru multibody), crearea unor modele hibride fiind dificilă. ArtySynth a creat un mediu de simulare interactiv, adaptat necesităților de cercetare biomecanică, care combină FEM cu analiza multibody. [77]

În vederea modelării stării de tensiune și deformație a posturii/coloanei vertebrale sunt necesare date experimentale care să evidențieze modificările posturale pre/post operatorii ale pacienților cu traumatisme maxilo-faciale cum ar fi: presiuni plantare determinate în regim static respectiv dinamic, modificări ale pozițiilor centrelor de greutate ale acestora, etc.

Investigațiile au fost efectuate pe un număr de șapte pacienți din care cinci cu intervenții operatorii în urma traumatismelor maxilo-faciale și doi cu anomalii dento-maxilare care necesită tratament ortodontic. Numărul acestora a fost dependent de condiționări obiective: accesul la cazurile Clinicii de Chirurgie Maxilo-Facială din Timișoara din urgențe, pacienți transportabili, acordul acestora de a participa la studiu, investigarea fiind pe termen lung se impunea ca pacienții să fie din localitate.

Din toate aceste investigații inițiale (vezi anexe) s-a ales un caz reprezentativ care întrunea condițiile de mai sus și care în mod special prezenta dubla fractură a osului mandibular care determină cele mai mari tulburări de ocluzie, clinic sănătos, fără afecțiunii posturale. Echipamentele de specialitate utilizate pentru investigații sunt noninvazive și aparțin Laboratorului de Ergoinginerie al Departamentului Mecatronică din Facultatea de Mecanică a Universității POLITEHNICA din Timișoara.

3.1. Determinarea modificărilor posturale cu ajutorul platformei baropodometrice electronice DIASU SYSTEM

Baropodometrul electronic modular (BEM) este un sistem ultramodern neinvaziv de diagnostic, disponibil în două versiuni BPEX pentru un diagnostic specific al piciorului și Multisensor pentru diagnostic clinic general.

Modularitatea permite compunerea platformei pentru orice scop, rezultând o analiză unitară a informațiilor colectate. În ultimii 20 de ani, baropodometrul electronic modular a fost continuu perfecționat, datorită eforturilor cercetărilor științifice din domeniul ortopediei, neurologiei, stomatologiei, ORL și oftalmologiei, ajungând azi un sistem unic de completare a diagnosticului clinic. Măsurătorile obținute cu BEM sunt precise, imediate și repetabile și furnizează evaluări funcționale și ortostatice (teste statice, dinamice și stabilometrice).

Testele pot fi efectuate cu piciorul desculț în scop diagnostic sau încălțat, pentru o evaluare actuală a condiției pacientului. [123,135]

BEM ca sistem avansat de diagnostic non-invaziv, poate ajuta medicul pentru a identifica problemele biomecanice. Poziția și orientarea în spațiu a diferitelor părți ale corpului pot fi estimate cu ajutorul sistemului BEM, care este folosit pentru evaluări biomecanice statice și dinamice. Această analiză poate ajuta medicul pentru a identifica dacă există o problemă biomecanică detectabilă, care poate afecta postura și cauza dureri posturale conexe. Baropodometrul este alcătuit dintr-o platformă de detectare cu o lungime de 160cm și 40cm lățime, conținând 25600 de senzori de presiune, alături de un sistem optoelectronic format dintr-o cameră video cu infraroșu (Fig.3.1).

În cadrul analizei biometrice digitalizate, datele sunt achiziționate imediat ce pacientul face contact cu platforma de presiune, până când el/ea părăsește platforma. Examinarea se repetă de 3 - 4 ori, pentru a identifica tulburări de mers sau echilibru. Elaborarea fiecărui ciclu de mers implică monitorizarea punctelor de presiune centrale ale piciorului, distribuția presiunii plantare și valori numerice; reacțiunile plăcii de presiune și centrul de greutate sunt de asemenea înregistrate.

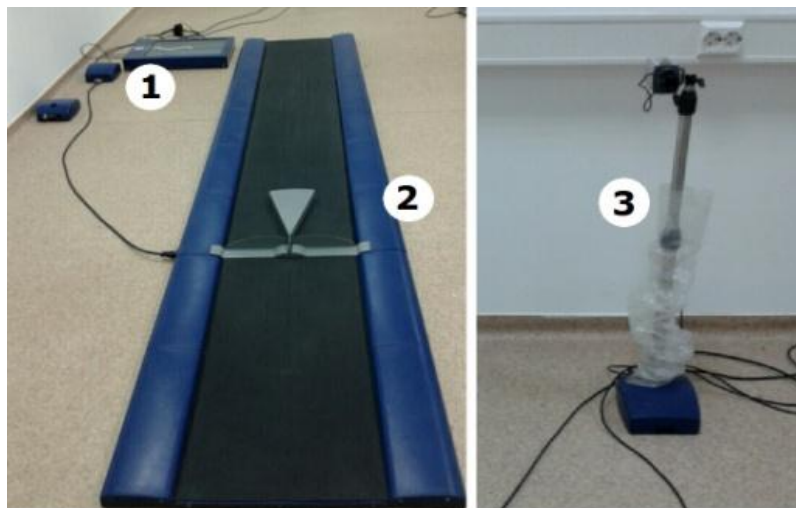


Fig.3.1 – Baropodometru electronic DIASU SYSTEM:
1 - PodoScanalyzer; 2 - platforma baropodometrică; 3 - sistem optoelectronic.

Testul de echilibru se efectuează în picioare pe placa de presiune și implică teste de stabilometrie. Datele obținute despre oscilațiile antero-posterioare și laterale ale pacientului, identifică orice tulburări ale ochilor sau al sistemului vestibular. De asemenea în componența echipamentului intră și un podoscop computerizat, PodoScanalyzer care scanează piciorul în scopul de a analiza structura acestuia. [110]

Analiza Biometrică Digitalizată

Analiza posturală digitală se bazează pe datele produse de un echipament complet non-invaziv, care poate identifica o problemă biomecanică reală. [114]

Sistemul pentru biometrie digitalizat este compus din:

- baropodometru electronic modular cu platformă de detecție (min. 160 cm);
- multiSensor cu 25,600 de senzori pe o lățime de 40 cm și două piste de

- 80 cm fiecare, plus system optoelectronic cu o camera video cu infraroșii;
- podoscanalyzer care înregistrează date ale examinării morfologice ale presiunii piciorului în detaliu;
- Software-ul Milletrix înregistrează, analizează și interpretează datele statice, dinamice, stabilometria și raportul examinării cu DBIS (Digitalized Biometry Images System), un software care calculează sute de parametri.

3.1.1. Analiza statică

Analiza statică este rezultatul achiziției de date asupra poziției fixe în picioare pe o platformă, care arată punctele de presiune calculate la o medie de 5 secunde într-o poziție relaxată. Analiza statică arată parametri de bază ai pacientului (Fig.3.2).

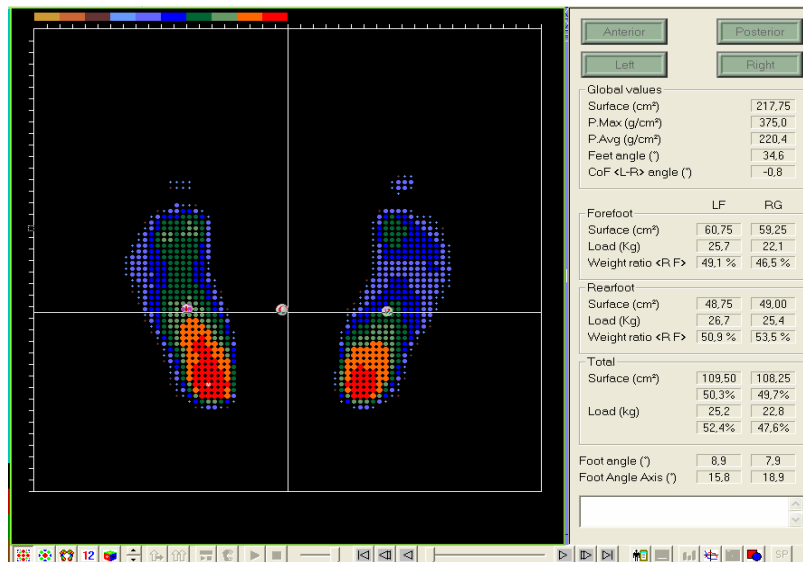


Fig.3.2 - Analiza statică.

Inițierea unei analize statice se face cu stabilirea poziției axei X, care trebuie plasată la jumătatea tălpii piciorului (*midfoot*) imediat înapoia metatarsianului 5. Axa Y trebuie plasată între tălpi. Amprentele se exportă ca imagini în format .txt sau .bmp.

Cei mai importanți indicatori sunt (Fig. 3.3):

- **CoF** – centrul de presiune pe fiecare talpă: L – stânga; R – dreapta;
- **Foot Angle Axis** - unghiul format de linia care pornește de la al doilea/al treilea deget la centrul călcâiului și verticala axei Y.

Dacă este prea mic (3/4 grade), acesta indică o poziție excesivă mediană, iar dacă este prea mare (mai mult de 15 grade) indică o poziție excesivă laterală;

- **Total Surface** [%] – procentul suprafeței reale de sprijin raportat la suprafața de referință;
 - **Total Load** [%] – procentul presiunii plantare reale față de cea de referință.
- Alte valori:

- **Global Surface** – suprafața totală de sprijin a tălpilor;
- **P.Max** [g/cm²] – presiunea maximă;
- **P.Avg** [g/cm²] – presiunea medie detectată pe întreaga suprafață plantară;
- **Feet Angle** – unghiul dintre poligoanele de presiune a tălpilor;
- **LF/** – distribuția presiunilor plantare pe vârful, călcâi și bolta tălpii;
- **Weight Ratio R/F** – coeficientul de distribuție a presiunii între călcâi și vârful;
- **Foot Angle** – unghiul format de liniile tangente la conturul piciorului.

Programul stabilește în continuare (Fig.3.4) punctul de presiune maximă care normal ar trebui să fie localizat pe călcâie.

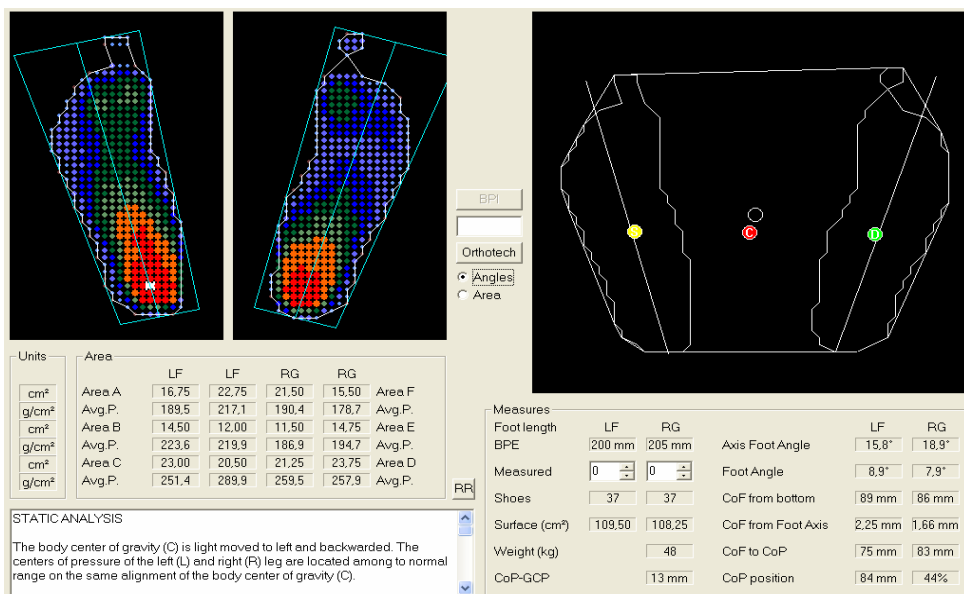


Fig.3.3 - Indicatori ai analizei statice.

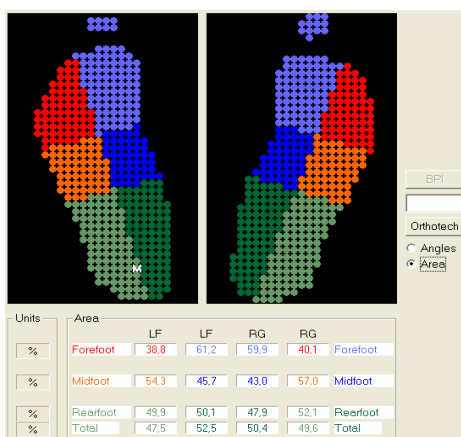


Fig.3.4 - Stabilirea punctului de presiune maximă M.

3.1.2. Analiza stabilometrică

Controlul echilibrului este o sarcină importantă pentru ființele umane , a căror poziție este intrinsec instabilă. Subiecții în mod normal anticipează perturbarea mecanică a echilibrului și încearcă să o corecteze prin executarea unor ajustări posturale anticipate corespunzătoare, pentru a putea păstra o poziție stabilă .

Calculul forțelor care acționează pe platforma baropodometrică pe care le dezvoltă subiectul ne conferă poziția instantanee a centrului de presiune a picioarelor, a centrului de greutate, analizează deplasarea lor ca o funcție de timp și ne oferă o măsură a oscilației corpului.

În timpul deplasării corpului ca răspuns la o perturbare externă , intrările senzoriale furnizează informații despre natura perturbării echilibrului și sunt utilizate pentru a genera răspunsul postural adecvat. În cazul în care aceeași perturbație se repetă în succesiune rapidă, intrările senzoriale pot fi utilizate de către sistemul nervos central pentru a anticipa efectul mecanic al perturbației, toate aceste ajustări fiind efectuate pentru a reduce deplasarea corpului, ele petrecându-se la nivelul sistemului nervos central.

Un exemplu de fișă a examenului stabilometric este prezentat în figura 3.5

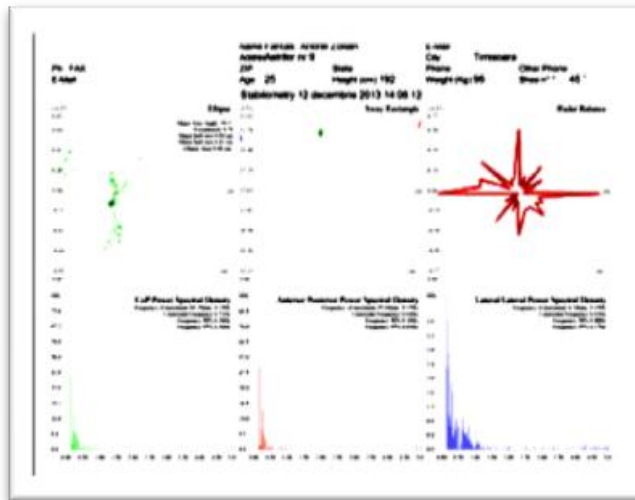


Fig.3.5 – Exemplu de fișă a examenului stabilometric.

Acest examen se face de obicei fără pantofi și pacientul aflat în poziția "Romberg", aceasta constând în a lua o poziție în picioare cu brațele întinse lateral, cu palmele îndreptate înainte. Picioarele sunt poziționate în funcție de suportul de plastic, la 30°. Pacientul este, de asemenea, invitat să mențină o poziție relaxată și o respirație normală, gura ar trebui să fie ușor închisă, pacientul ar trebui să rămână tăcut și concentrat la un punct plasat la nivelul privirii acestuia pe peretele din fața lui. De interes din fișa din figura 3.5 sunt:

Elipsa de încredere

Este definită ca elipsă (Fig.3.6) care , cu o probabilitate de 90% , conține centrul punctelor ce determină balansul centrului de greutate.

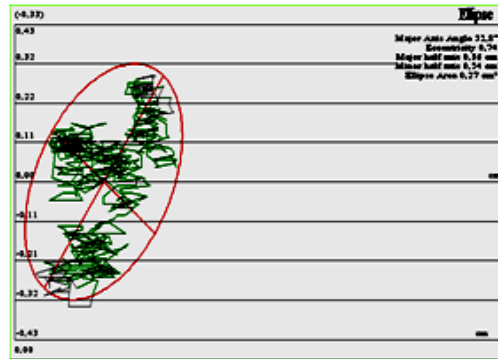


Fig.3.6 - Graficul elipsei de încredere.

Unghiul axei majore (major axis angle) este o valoare exprimată în grade ce indică direcția principală a balansului (de obicei ar trebui sa fie pe axa " Y ") .

Unghiul de excentricitate a elipsei este o valoare adimensională care reprezintă axa minoră raportată la axa majoră. Acest indice permite evaluarea direcției preferențiale de oscilații (balansul) și se încadrează în intervalul [0;1].

Suprafața elipsei (cm²) este zona elipsei de încredere, de obicei, această valoare ar trebui să fie mai mică de 1 cm².

Graficul radarului de balans

Acest indicator evidențiază direcția principală de balans care permite corelarea imediată între testele OE și CE (cu ochii deschiși și ochii închiși). Este o simplificare a elipsei de încredere (fig.3.7).

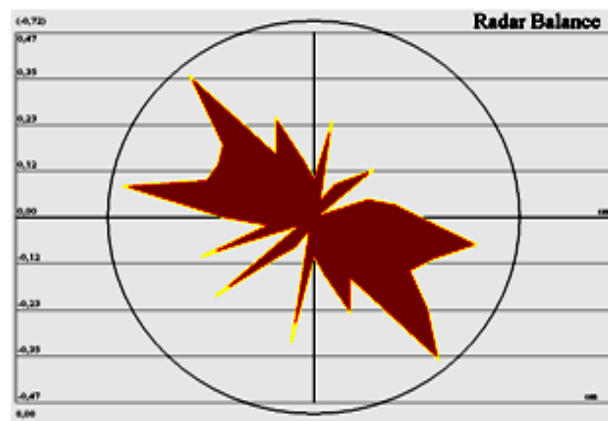


Fig.3.7 – Radarul de balans.

3.1.3. Analiza dinamică

Coordonarea echilibrului în condiții dinamice se bazează pe câteva mecanisme care includ ajustări posturale anticipate precedând mișcările voluntare, precum și răspunsuri automate la tulburări neprevăzute.

La o evaluare dinamică (Fig.3.8), în primul rând trebuie luate în considerare variațiile parametrilor de bază ai poziției statice (analiza statică). Se analizează dacă variațiile observate se datorează unui picior dureros sau dacă există probleme structurale care contribuie la modificarea parametrilor de bază (ex. pacienții neurologici, cu traumatisme maxilo-faciale, etc) sau există probleme vestibulare sau oculomotorii. În figura 3.8 sunt prezentate următoarele date relevante analizei pentru fiecare picior în parte:

- suprafața de contact (surf);
- încărcarea (load);
- presiunea maximă (p_{max});
- presiunea medie (p_{avg});
- viteza (vel);
- rotația (rotation);
- distanța între pași (walk);
- cadența (steps/minute);
- suprafața de contact frontală (surf. FF);
- suprafața de contact posterioară (surf. RF);
- încărcarea frontală (load FF);
- încărcarea posterioară (load RF).

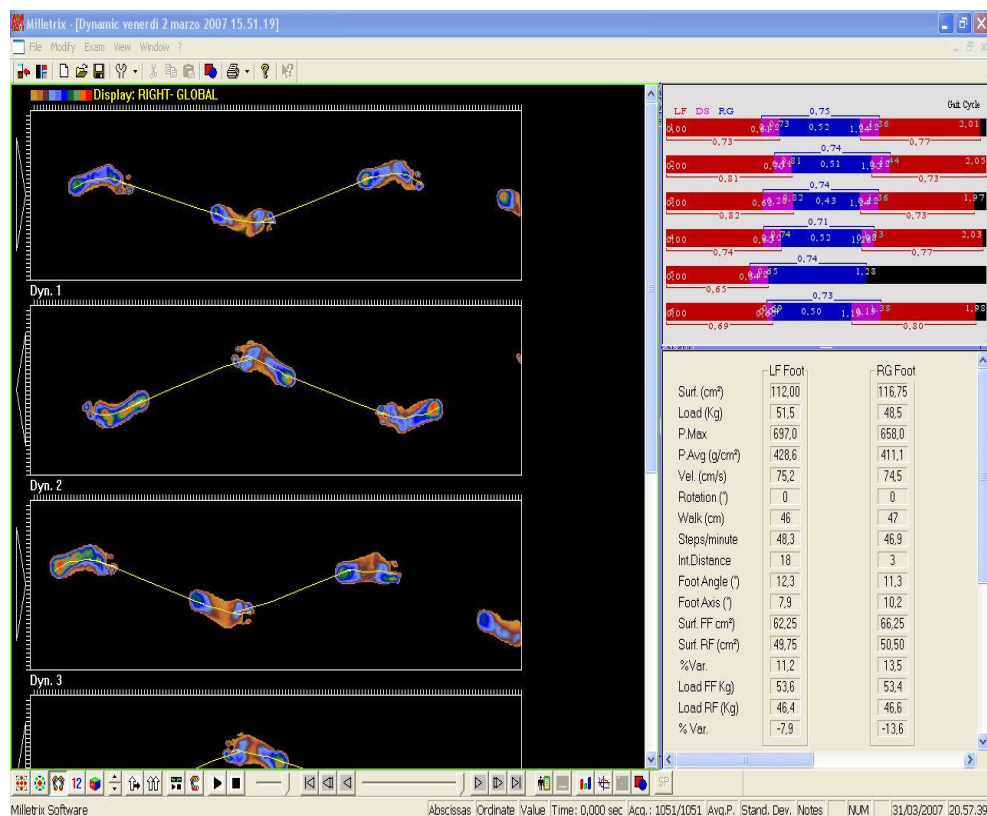


Fig.3.8 - Dinamica piciorului.

3.2. Rezultatele analizei experimentale

Pentru cazul reprezentativ analizat rezultatele investigațiilor și analizei cu platforma DIASU SYSTEM sunt prezentate în continuare comparativ în trei stadii: înainte de operație – după operație – recuperare completă.

Au fost necesare cele trei stadii deoarece vindecarea osoasă primară necesită 3 – 4 săptămâni iar după un an se consideră recuperat complet.

Pacientul a prezentat o dublă fractură de mandibulă ram orizontal drept și subcondilian stâng. Tratamentul a constat în reducere și imobilizare prin mijloace ortopedice. Rezultatele investigațiilor și analizelor celorlalți pacienți investigați sunt prezentate în ANEXA 1.

a) Examenul static

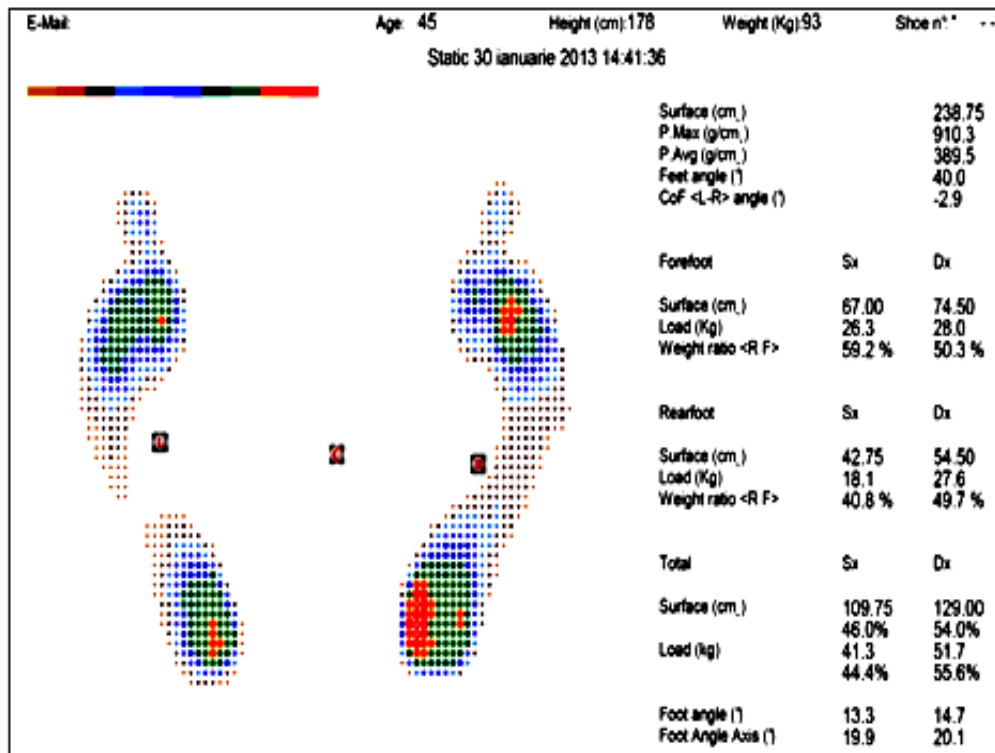


Fig.3.9 – Analiza statică înainte de operație.

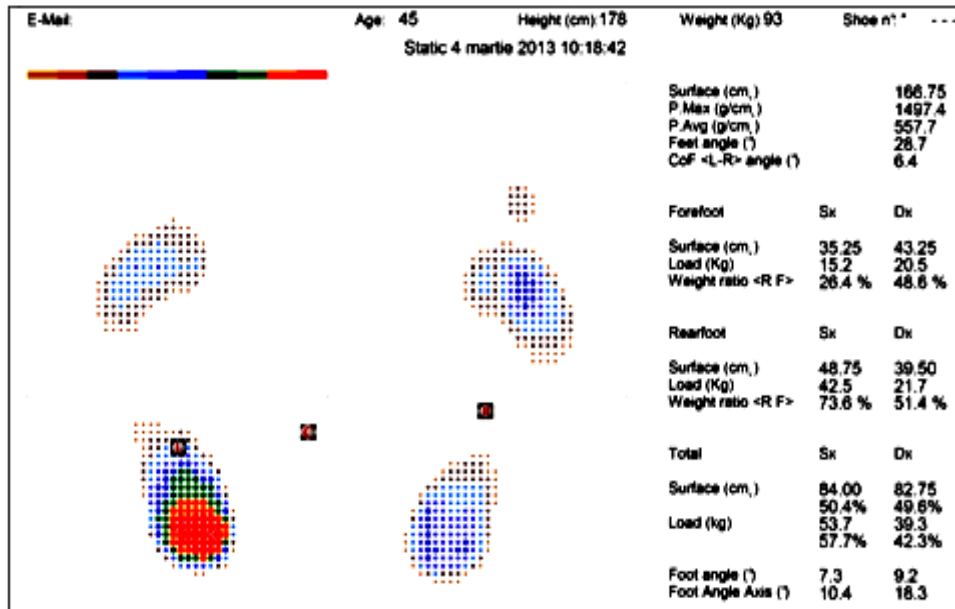


Fig.3.10 – Analiza statică după operație.

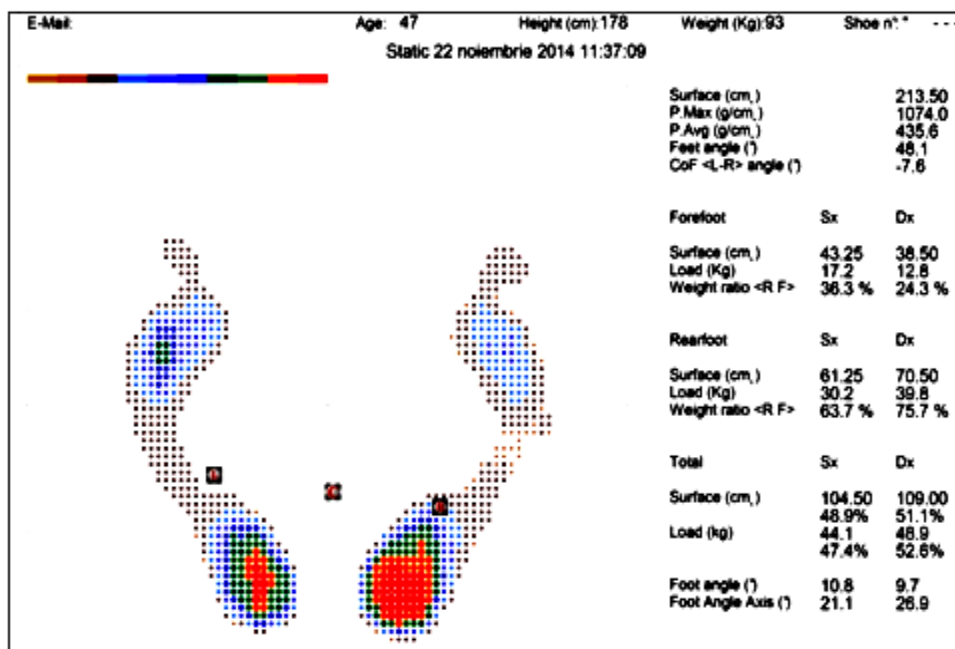


Fig.3.11 – Analiza statică după recuperare completă.

Conform Fig.3.9, coordonatele în plan ale centrului de greutate sunt: $x=3,5\text{mm}$; $y=3,607\text{mm}$, iar conform Fig.3.11: $x=0$; $y=-9,018\text{mm}$.

Tabelul 3.1 – Indicatorii corespunzători analizei statice (centralizat)

	Înainte de operație	După operație	Recuperare completă
Suprafața de contact (cm ²)	238,75	166,75	213,5
Punct presiune maximă (g/cm ²)	910,3	1497,4	1074
Presiune medie (g/cm ²)	389,5	557,7	435,6
Unghiul picioarelor (°)	40	28,7	48,1
Unghiul CoF (°)	-2,9	6,4	-7,6

Tabelul 3.2 – Distribuția presiunii plantare (centralizat)

Distribuția presiunii plantare	Înainte de operație		După operație		Recuperare completă	
	Picior stâng	Picior drept	Picior stâng	Picior drept	Picior stâng	Picior drept
Partea frontală						
Suprafața (cm ²)	67	74,5	35,25	42,25	43,25	38,5
Încărcătura (kg)	26,3	28	15,2	20,5	17,2	12,8
Raport în greutate (%)	59,2	50,3	26,4	48,6	36,3	24,3
Partea dorsală						
Suprafața (cm ²)	42,75	54,5	48,75	39,5	61,25	70,5
Încărcătura (kg)	18,1	27,6	42,5	21,7	30,2	39,8
Raport în greutate (%)	40,8	49,7	73,6	51,4	63,7	75,7
Total						
Suprafața (cm ²)	109,75	129	84	82,75	104,5	109
Suprafața (%)	46	54	50,4	49,6	48,9	51,1
Încărcătura (kg)	41,3	51,7	53,7	39,3	44,1	48,9
Încărcătura (%)	44,4	55,6	57,7	42,3	47,4	52,6
Unghiul piciorului (°)	13,3	14,7	7,3	9,2	10,8	9,7
Unghiul axei picioarelor (°)	19,9	20,1	10,4	18,3	21,1	26,9

a) Examenul stabilometric

Elipsa de încredere

De interes pentru modelarea analitică și cu element finit sunt suprafețele de contact, presiunile maxime și unghiul picioarelor (Tab.3.1), distribuțiile presiunii plantare (Tab.3.2) precum și localizarea centrelor de presiune (Fig.3.9 – 3.11) pentru studiile analizate.

Din figura 3.12 se observă clar o distribuție mult mai uniformă a distribuției presiunii plantare la recuperarea completă față de stadiile anterioare pe ambele picioare.

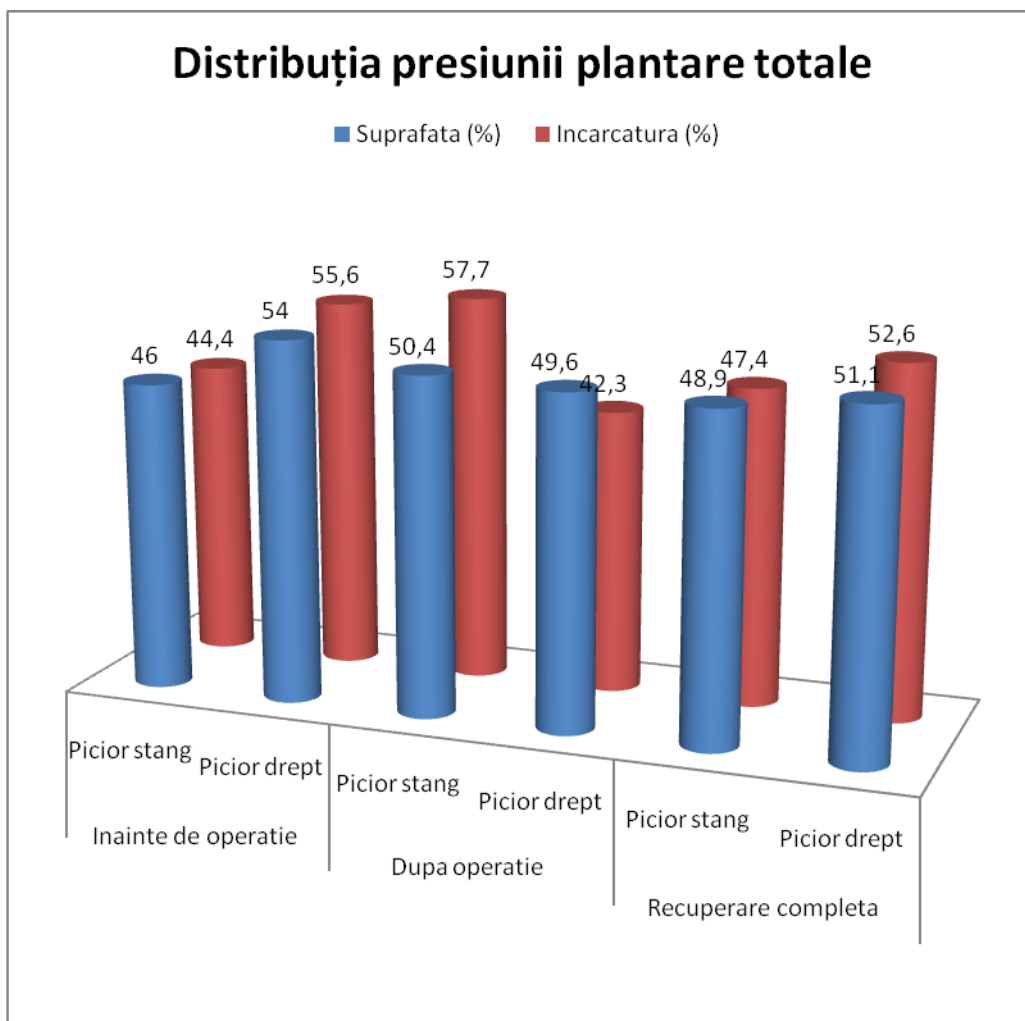


Fig.3.12 – Distribuția presiunii plantare.

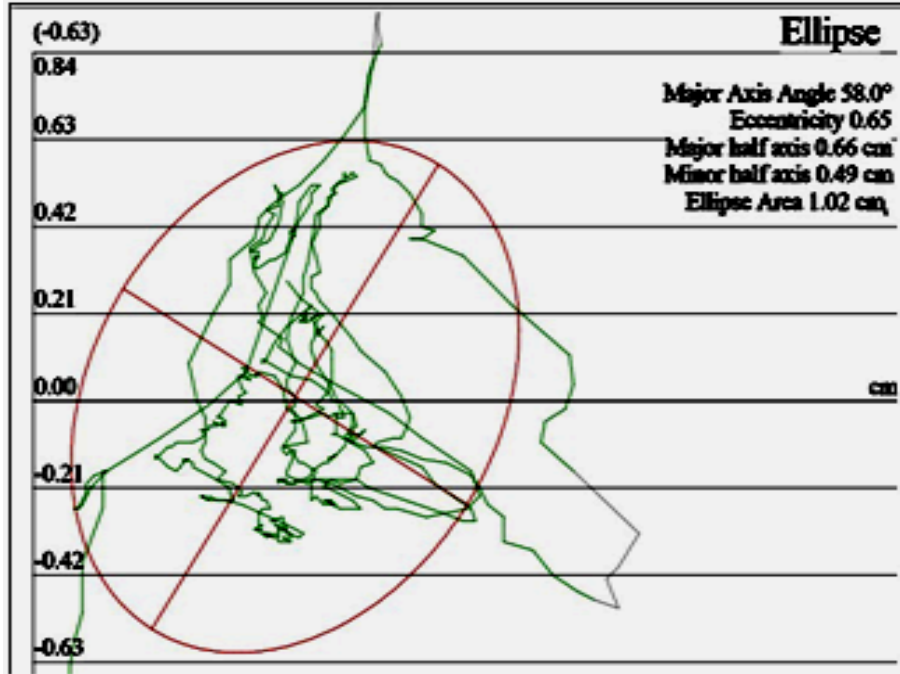


Fig.3.13 – Elipsa de încredere înainte de operație.

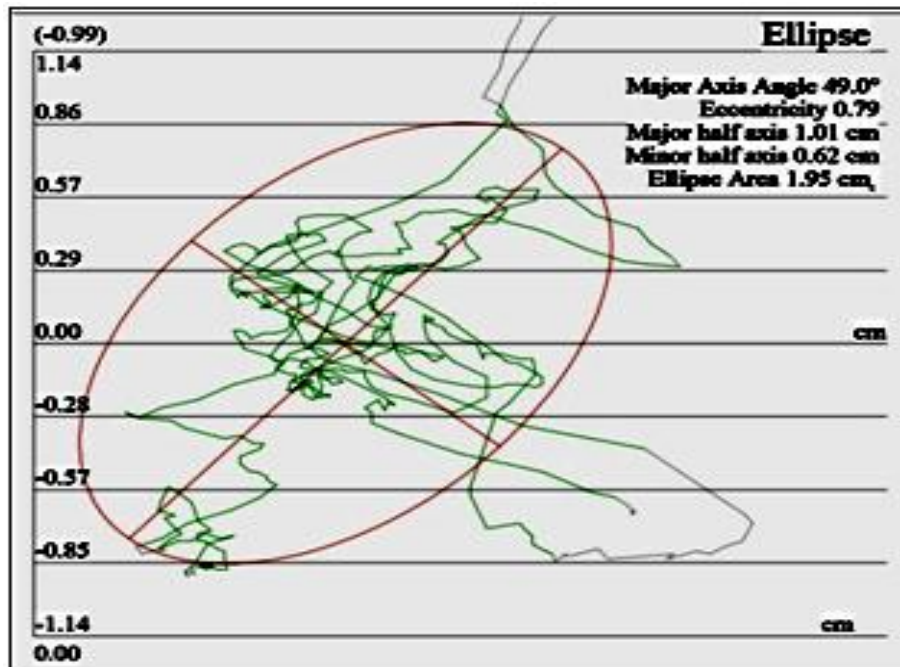


Fig.3.14 – Elipsa de încredere după operație.

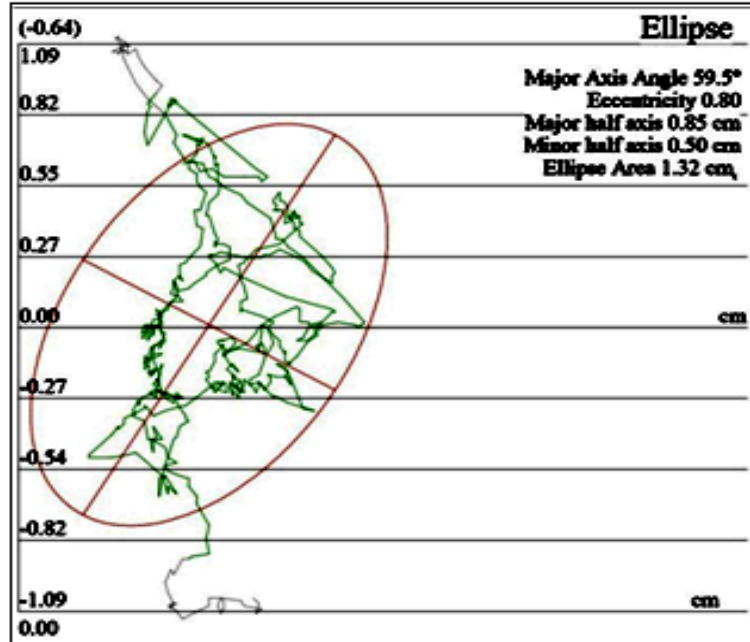


Fig.3.15 - Elipsa de încredere după recuperare completă.

Graficul radarului de balans

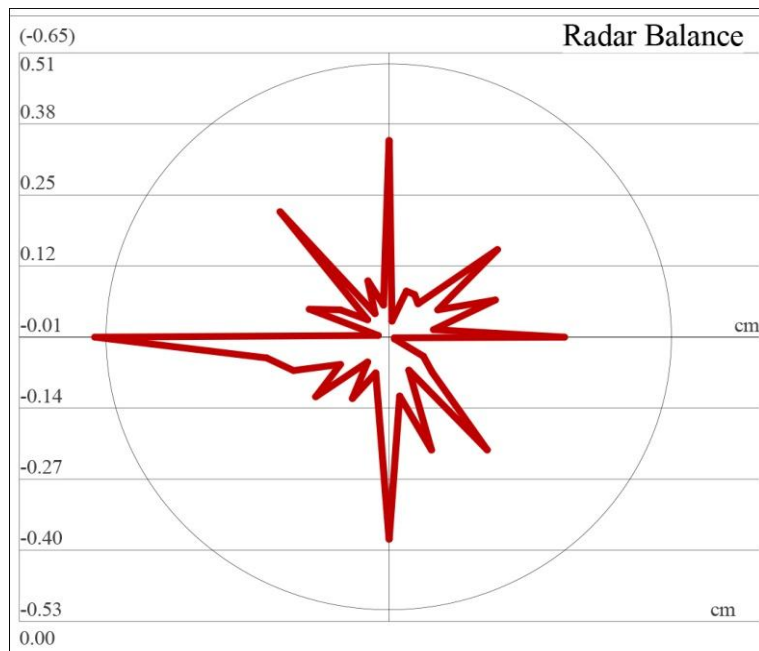


Fig.3.16 - Radarul de balans înainte de operație.

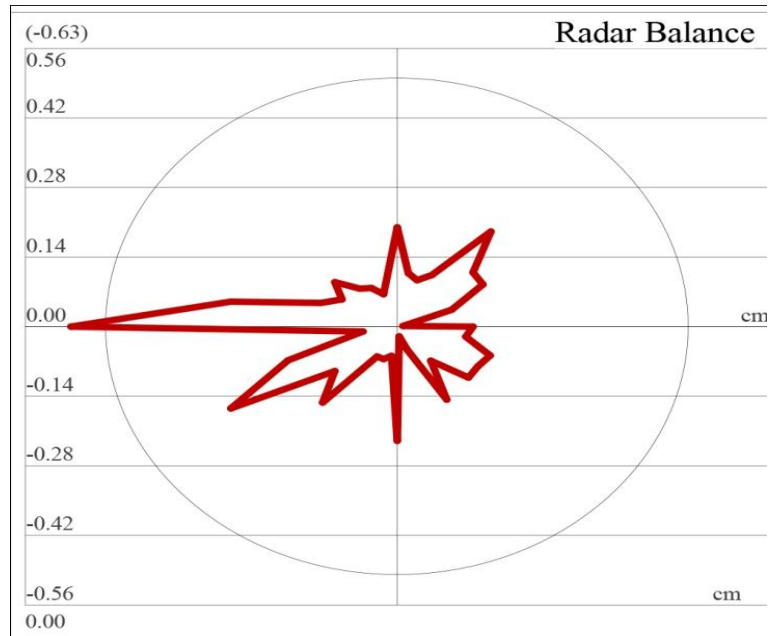


Fig.3.17 – Radarul de balans după operație.

Din figurile 3.16 și 3.17 a radarelor de balans se observă clar o echilibrare pronunțată după recuperare completă (Fig.3.18).

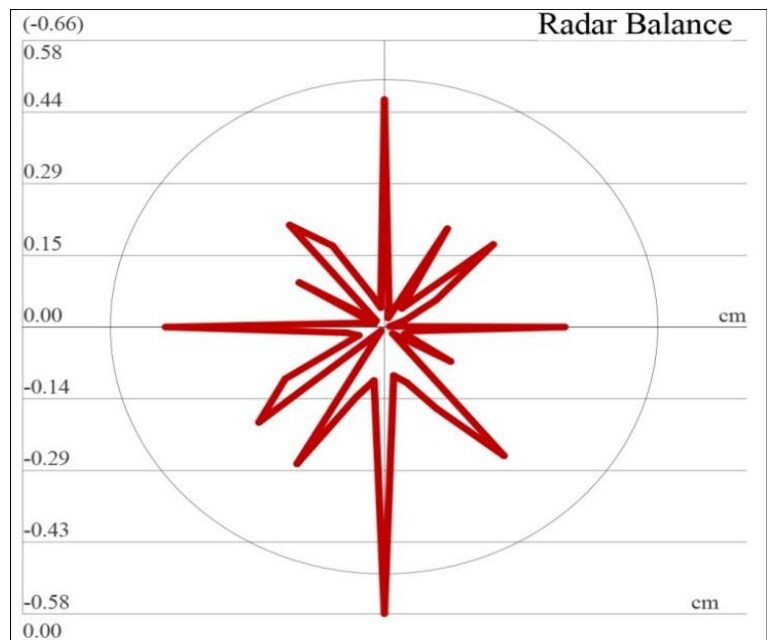


Fig.3.18 – Radarul de balans după recuperare completă.

b) Analiza dinamică

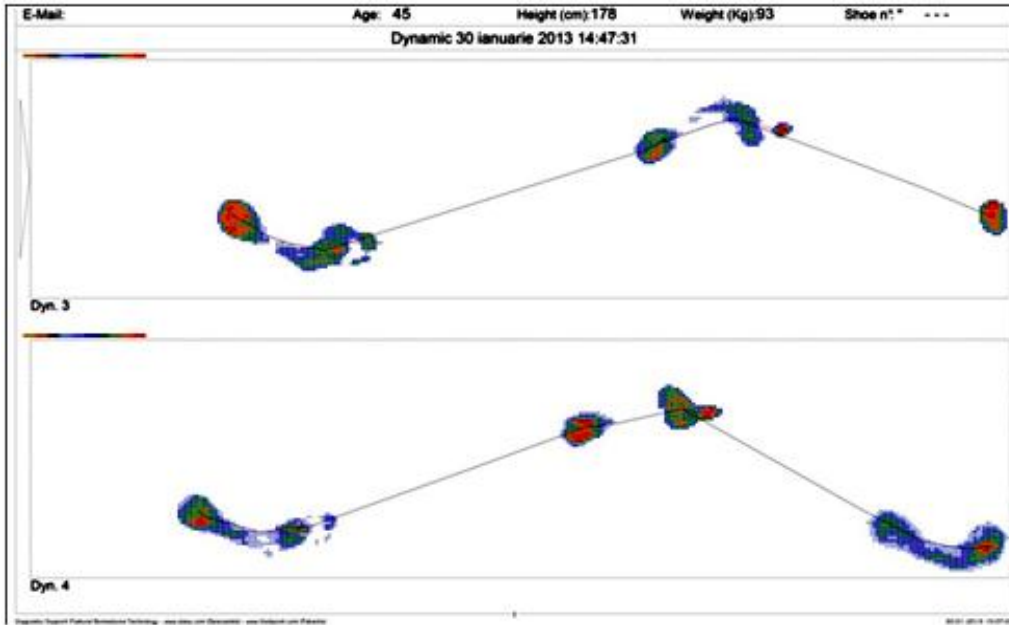


Fig.3.19 – Analiza dinamică înainte de operație.

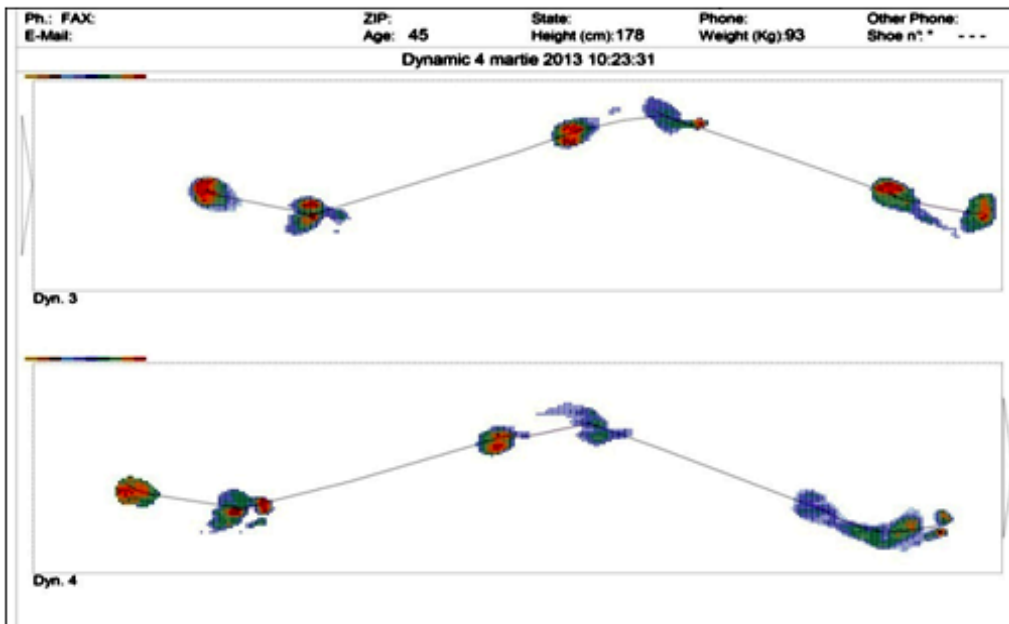


Fig.3.20 – Analiza dinamică după operație.

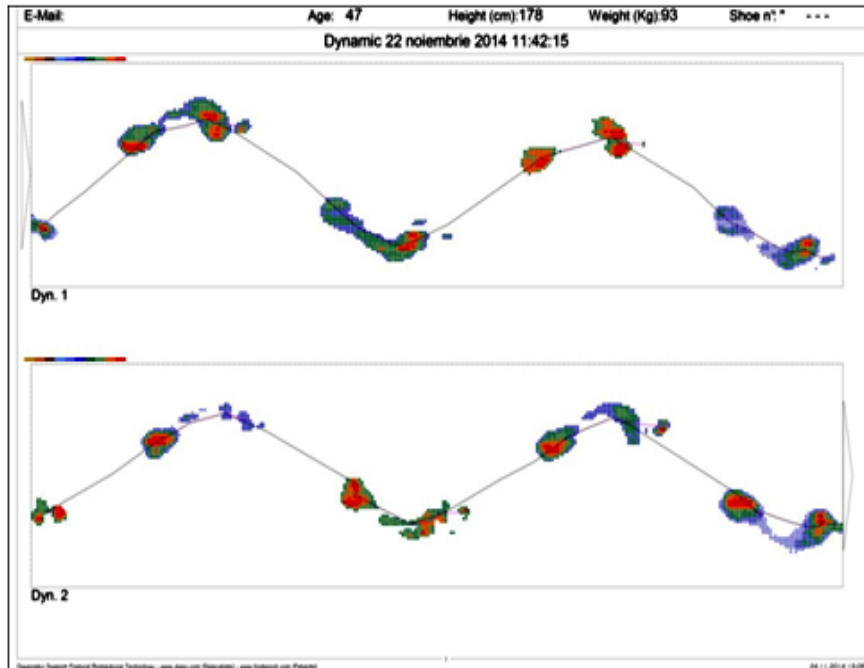


Fig.3.21 – Analiza dinamică după recuperare completă.

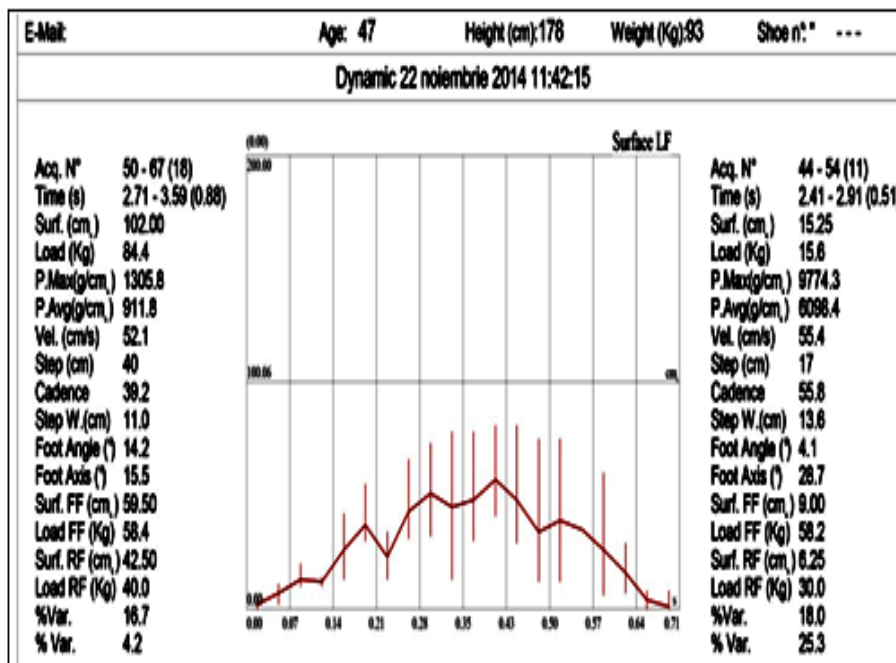


Fig.3.22 – Tabel valori examen dinamic captat cu software-ul Milletrix.

Tab.3.3 – Valori centralizate ale analizei dinamice

	Înainte de operație		După operație		Recuperare completă	
	Picior stâng	Picior drept	Picior stâng	Picior drept	Picior stâng	Picior drept
Timp (s)	3,45-4	3,45-3,59	3,05-3,54	2,21-2,41	2,71-3,59	2,41-2,91
Suprafața (cm ²)	43,5	13	87,75	20,75	102	15,25
Încărcare (kg)	74,2	25,8	73,5	26,5	84,4	15,6
Presiune maximă (g/cm ²)	3214,5	11546,3	1526,3	8857,1	1305,8	9774,3
Presiune medie (g/cm ²)	2137,9	7153,8	1059,8	4481,9	911,8	6098,4
Viteza (cm/s)	450	500	153,8	32,1	52,1	55,4
Lungimea pasului (cm)	35	47	54	35	40	17
Cadența	638,3	85,8	55,3	71,2	39,2	55,8
Lățimea pasului (cm)	10,4	18,7	6,3	14	11	13,6
Unghiul piciorului (°)	8,3	108,1	18,5	11,1	14,2	4,1
Axa piciorului (°)	22,4	80,8	16,2	5,6	15,5	28,7
Suprafața frontală (cm ²)	23,75	3,75	50,5	9,75	59,5	9
Încărcarea frontală (kg)	50,5	24	59,4	52,2	58,4	58,2
Variația frontală (%)	9,2	-42,3	15,1	-6	16,7	18
Suprafața dorsală (cm ²)	19,75	9,25	37,25	11	42,5	6,25
Încărcarea dorsală (kg)	46,7	63,1	38	31,8	40	30
Variația dorsală (%)	-10,2	-5,5	13,7	51,3	4,2	25,3

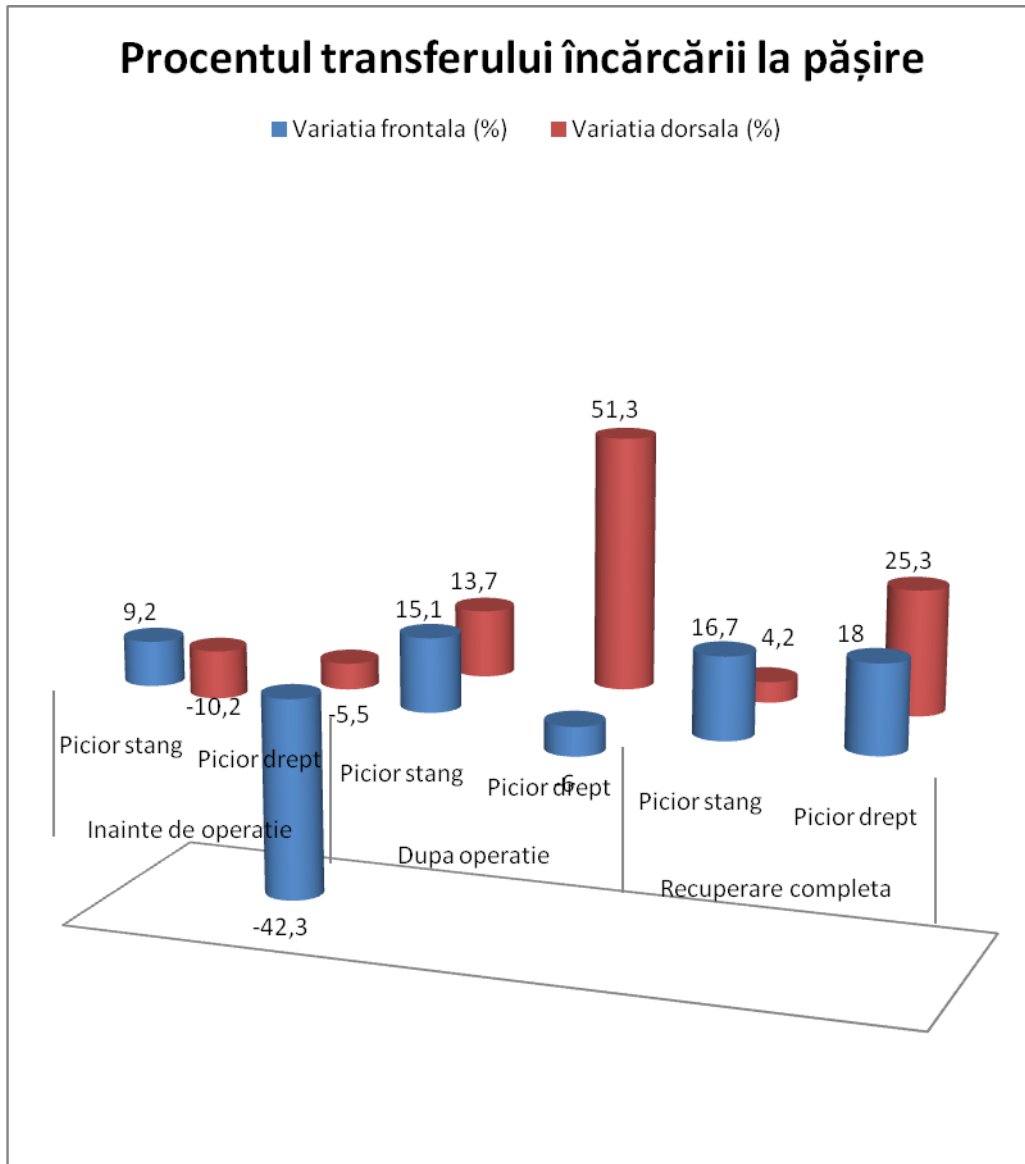


Fig.3.23 – Procentul transferului încărcării la pășire.

Conform rezultatelor din tabelul 3.3 și figura 3.23 se observă distribuția dinamică a presiunilor plantare precum și a transferului de încărcare plantar mult ameliorat la stadiul de recuperare completă.

4. Abordarea analitică și experimentală a sistemului stomatognat

Între diferitele componente ale sistemului stomatognat există o strânsă corelație morfologică și funcțională, ceea ce face ca afectarea uneia dintre verigile sistemului să atragă după sine dereglarea celorlalte.

4.1. Aspecte anatomice ale sistemului stomatognat uman (din perspectivă biomecanică)

Sistemul masticator uman este compus din mandibula mobilă față de craniu, ghidată de cele două ATM prin contracția mușchilor masticatori. Trebuie cunoscute aspectele anatomice și consecințele mecanice ale acestei construcții, contribuția fiecărei structuri la această mișcare.

Morfologia sistemului masticator uman este extrem de complexă. Mandibula este suspendată între două articulații simetrice cu suprafețe incongruente care permit mișcări în șase grade de libertate.

Fiecare mușchi implicat în masticatie are un antagonist în partea opusă a mandibulei, mușchi care pot fi activi sau inactivi simultan.

4.1.1. Articulații – ATM. Aspecte biomecanice articulare

Suprafețele articulare sunt inaccesibile măsurătorilor directe *in vivo*. Aceste suprafețe sunt neregulate și acoperite de fibrocartilaj. Discul cartilaginos interarticular are o grosime neuniformă și este capabil să se miște împreună cu condilul de-a lungul tuberculului articular în timp ce simultan se rotește pe suprafața condilului.

Discul este conectat prin structuri fibroase relativ laxe la osul temporal și cel mandibular, formând capsula articulară care este întărită lateral de ligamentul temporomandibular. Ligamentul sfenomandibular și cel stilomandibular sunt accesorii.

Incongruența marcată a suprafețelor articulare temporo-mandibulare este un aspect major din care derivă consecințe mecanice particulare. Mișcări complexe sunt posibile cu prețul unei stabilități reduse și a unor suprafețe mici de contact. Scopul discului articular este de a reduce incongruența și a mări aria de contact și inerent stabilitatea articulară.

O altă particularitate, datorată și permisivității capsulei articulare, este că mișcările nu sunt restricționate doar la rotație în jurul unor axe ca în articulațiile clasice. Condilul și osul temporal pot fi considerate ca două corpuri separate, în spațiu, menținute în contact alăturat, la mișcarea mandibulei, care astfel are șase grade de libertate. Numărul posibilităților de mișcare este practic infinit (redundanță cinematică). [65,66]

4.1.2. Mușchii masticatori. Aspecte biomecanice

Activarea și coordonarea mușchilor masticatori determină direcția mișcărilor maxilare, controlul forțelor ocluzale și modelarea craniului în diverse moduri. Mușchii masticatori induc sarcini importante asupra craniului, influențându-i creșterea și rezistența. Mușchii sunt în relație cu morfologia dinților și mișcările maxilarelor în producerea tiparelor de masticație specifice fiecărei specii. Direcția de acțiune și producerea forțelor tinde să fie mai neregulată la nivelul mușchilor masticatori decât la mușchii membrilor, unde este mai liniară.

Mușchii maxilarelor au inserții diferite pe mandibulă și craniu, dar principalul factor care contribuie la complexitatea funcțională este faptul că majoritatea fibrelor musculare se inseră mai mult pe aponevrozele interne decât direct pe os. Inevitabil, fibrele care se atașează de diferite regiuni ale aponevrozelor au orientări diferite, astfel încât contracții diferite ale fibrelor musculare pot schimba direcția tracțiunii mușchilor masticatori. Direcția de acțiune nu este o constantă, ci variază dinamic în timpul ciclului masticator. Mușchii masticatori împreună cu dentiția determină direcția cursei de lucru. Dinții joacă un rol predominant când formează un plan înclinat, păstrând direcția mișcării maxilare medială chiar dacă rezultanta mușchilor este verticală sau ușor laterală. Rolul mușchilor devine predominant când suprafața ocluzală neregulată nu definește un plan, de exemplu abraziune dentară.

Anatomia musculară determină și reflectă mișcarea maxilarelor. Mușchii sunt predominant alternanți (închidere/deschidere) sau predominant translativi (anterior/posterior sau medial/lateral). Mușchii masticatori constituie provocarea biomecanică majoră asupra craniului, datorită acțiunii lor directe asupra inserțiilor osoase și acțiunii lor indirecte asupra încărcării dinților și articulațiilor. Efectele directe ale inserțiilor musculare sunt specifice mușchilor utilizați și utilizate în tiparul de coordonare musculară. Efectele indirecte depind de forța musculară totală și de dinții aflați în ocluzie. Mușchii aduc mandibula în contact cu maxilarul superior și asta generează forțe de reacție la nivelul punctelor de contact, dinții și articulațiile temporo-mandibulare.

Forța ocluzală are influență majoră asupra craniului este de împingere a maxilarului în sus și a mandibulei în jos. Forța de reacție a articulațiilor temporo-mandibulare apare din mecanica pârghiei, iar rezultanta forțelor musculare rareori trece de punctul de mușcătură. Sarcinile ATM sunt reacții la tracțiunea musculară. Echilibrarea ocluzo-articulară rezultă din anatomia musculară și modul de contracție. Mamiferele au o ocluzie anisognată cu sarcini/încărcări inegale în funcție de suprafața de balansare. [49]

4.1.3. Biomecanica mușchilor masticatori

În actul masticator, activitatea musculară antagonistică activă pare să fie redusă, spre deosebire de mișcările membrilor, în care pentru frânare acționează forța dezvoltată în mușchii antagoniști. La deschiderea gurii, decelerarea s-ar face prin sarcinile elastice și vâscoase care se opun mișcărilor, sarcini apărute din întinderea mușchilor ridicători. Sarcinile nesimetrice din timpul deschiderii maxilarelor pot fi în relație cu proprietățile mișcărilor de „load-opposing”.

Maxilarul poate fi privit ca un sistem liniar „second-order” în care mișcările de deschidere se produc prin schimbarea poziției de echilibru. Forța netă care produce deschiderea depinde de diferența dintre poziția actuală și cea de echilibru,

precum și de viteza și accelerarea mișcării. Mușchii care determină închiderea, ridicătorii, pot fi modelați ca un arc vâscos care se opune mișcării de deschidere.

Din punct de vedere mecanic, sistemul stomatognat uman pare a conține mai mulți mușchi decât este necesar pentru a îndeplini sarcinile. Un sistem muscular optim din punct de vedere mecanic încalcă probabil necesitățile de spațiu, ținând cont de vecinătatea cu tractul respirator și cel digestiv. Mușchii pot efectua orice mișcare în diferite moduri, fiind necesar ase adapta permanent la consistența bolului alimentar. Sistemul este redundant, existând practic un număr infinit de tipare de contracție musculară care pot determina același tip de mișcare. Această heterogenitate funcțională împreună cu ariile largi de inserție poate determina acțiuni dintre cele mai diverse. Mai mult, datorită naturii lor extinse, fibre separate din cadrul aceluiași mușchi se pot scurta independent în timpul mișcărilor mandibulare, fără intervenția sistemului nervos. [66]

4.1.4. Mișcările maxilarelor – Mișcările de masticție - Masticția

Masticția este un proces automat, inconștient, ce poate fi adus în orice moment sub control conștient. Sistemul nervos central analizează și organizează informațiile și controlează mișcările prin contracția unor grupe de mușchi și inhibiția altora.

Spre deosebire de reflexul înnăscut de deschidere a gurii, cel de mestecat trebuie învățat și apare numai după erupția completă a dinților. Masticția devine complet coordonată pe la vârsta de 4-5 ani.

Tiparele mișcărilor masticatorii variază considerabil de la un individ la altul, precum și între cicluri consecutive individuale. Masticția poate fi descrisă ca fiind compusă din trei etape: deschidere, închidere și împreună alcătuind un ciclu, mișcarea punctului interincisiv fiind în formă de lacrimă. [28]

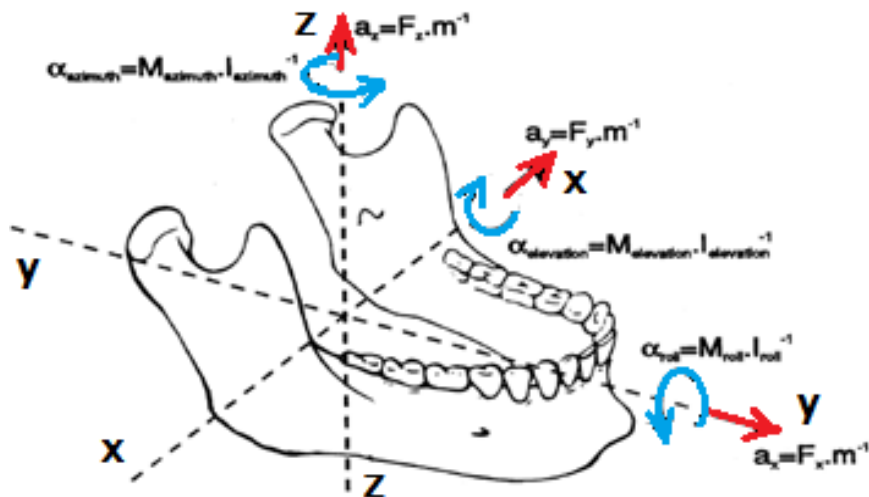


Fig.4.1 - Șase grade de libertate a mișcării mandibulare. Liniile întrerupte: axele principale. a - accelerații liniare; F - forțe liniare; m - mase; α - accelerații unghiulare; M - momente; I - momente de inerție. [66]

Mișcările unui corp în spațiu pot fi de translație sau/și rotație. Aceasta se aplică și la mandibulă, în jurul a trei axe independente, care sunt trei axe ortogonale ale unui sistem Cartezian aliniat planurilor anatomice folosite în acest scop (Fig.4.1).

Translațiile pot fi descrise în jurul unor axe antero-posterioare (X), medio-laterale (Y) și supero-inferioare (Z). Rotațiile pot fi definite de termeni ca azimut, față de axa Z, ridicare/înclinare față de axa Y și rotire/răsucire față de axa X.

Independent de setul de axe aplicat, fiecare mișcare poate fi exprimată ca o combinație unică de șase tipuri independente fundamentale de mișcare, cunoscute ca cele șase grade de libertate ale mișcării.

Mandibula este ghidată în mișcare de articulațiile sale, care îi pot limita gradele de libertate. Mișcarea oricărui punct de pe mandibulă poate fi reconstituită din mișcarea mandibulei dar nu și invers.

Aspectele funcționale ale unei mișcări mandibulare nu sunt ușor de recunoscut din combinația mișcărilor de translație și rotație în funcție de axele predefinite. Un mod alternativ de a descrie mișcare este de o rotație în jurul și o translație de-a lungul unei așa-numite *helical axis* (Kinzel et al, 1972).

O mișcare poate fi descrisă de deplasări mici consecutive. Orientarea și localizarea axei helicoidale față de asemenea deplasare (Fig.4.2) oferă informații cum au avut loc, în timp ce corpul în mișcare translatează și se rotește în jurul acestei axe.

În general axa helicoidală nu este staționară și poate să sufere dislocări proprii în timpul mișcării. Astfel, fiecare moment al mișcării este conectat la o axă helicoidală instantanee unică. Pentru mișcările sagitale, această axă este similară centrului de rotație instantaneu pentru mișcarea plană.

Localizarea și înclinarea axei helicoidale/spirală, precum și volumul rotațiilor în jurul și translațiilor de-a lungul acestei axe, conține șase variabile independente conform celor șase grade de libertate a mișcării.

Axele helicoidale instantanee pot oferi o imagine de ansamblu asupra mișcărilor mandibulare. Mișcarea dinților și a condililor poate fi dedusă din acestea.

Recunoașterea aspectelor funcționale ale mișcărilor maxilare dintr-o combinație de rotații și translații raportate la axe predefinite nu este ușoară.

Axele helicoidale nu sunt staționare și pot la rândul lor urma deplasări în timpul mișcărilor, fiecare secvență a mișcării este conectată la o axă helicoidală unică instantanee. Locația și înclinația axei helicoidale, precum și suma rotațiilor și translațiilor de-a lungul acestei axe, conține șase variabile independente conform celor șase grade de libertate a mișcărilor.

Mișcarea condililor se poate determina prin distanța față de axă. Dacă mișcarea este predominant de rotație, axa helicoidală este situată mai aproape de articulație. Invers, dacă translația este dominantă, axa helicoidală este la distanță.

Dinamica mandibulară se exprimă prin poziția, forța și accelerația ei, fiind supusă legilor lui Newton, ca orice corp în mișcare. Mișcările sunt produse de forțele care acționează asupra mandibulei. Acestea pot fi forțe active musculare și forțe pasive (reacții) generate de articulații, ligamente și elemente dentare.

Într-un sistem Cartezian, poziția nu este definită doar de pozițiile X, Y și Z ale centrului de gravitație față de originea sistemului, ci și de orientarea mandibulei (*azimuth, elevation and roll*). Viteza și accelerația au deasemenea trei componente liniare și trei componente unghiulare. Pentru fiecare din cele șase componente viteza este derivată din poziție și accelerația este derivată vitezei.

Fiecare forță liniară (F_x, F_y, F_z) este însoțită de un moment sau cuplu de torsiune ($M_{azimuth}, M_{elevation}, M_{roll}$). Rezultanta forțelor și momentelor generează

acceleării conform legii a II-a a lui Newton (acceleration equals force divided by mass) (Fig.4.2).

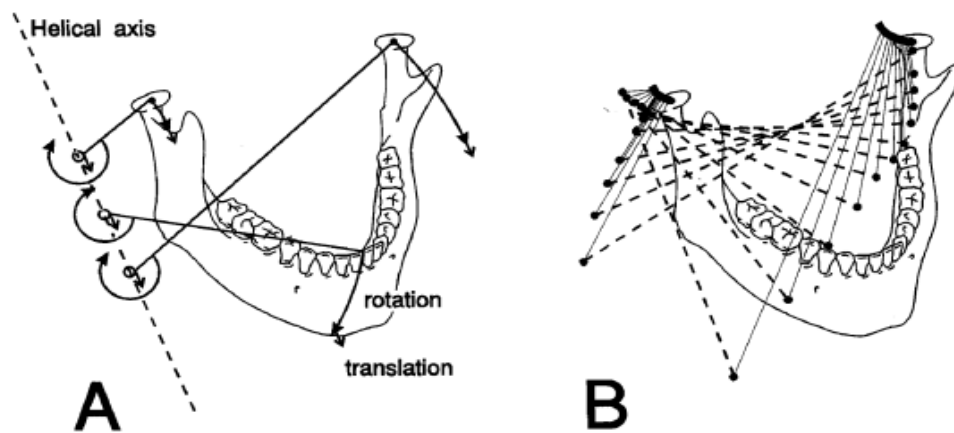


Fig.4.2 - Axele helicoidale: (A) Rotațiile în jurul și translațiile de-a lungul unei axe helicoidale ipotetice în timpul unei mișcări mandibulare (linie întreruptă); (B) axe helicoidale subsecvente în timpul închiderii gurii. [66]

Masa mandibulei este compusă din trei componente liniare și trei componente unghiulare. Cele trei componente liniare ale masei maxilarului inferior sunt egale masei comune. Cele trei momente de inerție depind de distribuția masei față de axa luată în considerare și de forma mandibulei și a structurilor adiacente.

Momentul de inerție al unei axe este definit ca suma maselor fiecărei particule multiplicată de distanța dintre particulă și axa relevantă la puterea a doua. Pentru o mandibulă de 0,44 kg, momentul de inerție a fost estimat la 8,6 kg.cm², 2,9 kg.cm² și 6,1 kg.cm² pentru I_x , I_y , I_z (Fig.4.1).

Aceasta înseamnă că este necesar de trei ori mai puțin cuplu de torsiune musculară pentru a accelera mandibula pentru mișcările de deschidere-închidere decât pentru latero-devieri.

Această accelerare determină schimbări ale vectorului viteză (liniar și unghiular) și viteza determină modificări ale poziției mandibulei (liniare și unghiulare). [66]

4.1.5. Forțe exercitate de mușchii masticatori

Fibrele musculare sunt alcătuite dintr-un element pasiv care produce forțe pasive și un element contractil care produce forțe active. Mușchii acționează cu cea mai mare forță activă când lungimea lor este cât mai aproape de ideal, deseori lungimea de repaus.

Când mușchiul se scurtează datorită propriei acțiuni sau unei forțe externe, forța activă descrește. Astfel, domeniul de contracție musculară va rămâne la vârful curbei lungime-tensiune, pentru a maximiza forța de contracție. [28]

Datorită proteinelor elastice musculare, există o forță pasivă, care se opune alungirii.

În mișcarea lor, maxilarele funcționează ca o pârghie de gradul al III-lea (Fig.4.3). Articulația temporo-mandibulară este punctual fix, iar maseterul, pterigoidianul intern și mușchii temporali creează forța.

Dinții reprezintă organul efector prin care se transmite forța obstacolului alimentar.

Cu cât ne apropiem mai mult de incisivi, cu atât pârghia este mai puțin eficientă iar dinții vor fi solicitați mai puțin, ceea ce face ca dinții frontali să părăsească ultimii arcada dentară.

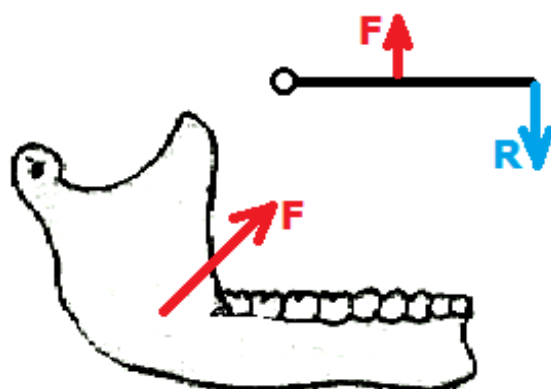


Fig.4.3. - Funcționarea ATM ca o pârghie de gradul III. [119]

Forța produsă de ridicătorii de pe partea stângă va transforma pârghia de gradul III într-o pârghie de gradul II, deci mai eficientă și mai traumatizantă, cu atât mai mult cu cât este vorba de contacte neechilibrate (Fig.4.4).

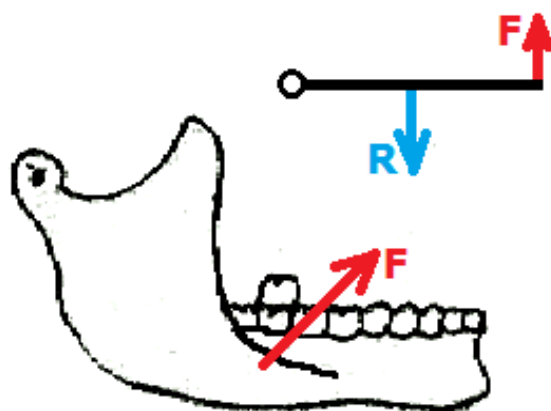


Fig.4.4 - Funcționarea ATM ca pârghie de gradul II. [119]

Dacă contactul de pe partea stângă este de mai mare importanță, el devine punct de sprijin iar pârghia se transformă într-o pârghie de gradul I, ceea ce se

traduce prin apariția unor forțe foarte puternice la nivelul dintelui de contact care se poate repercuta și asupra articulației temporo-mandibulare și a mușchilor (Fig.4.5).

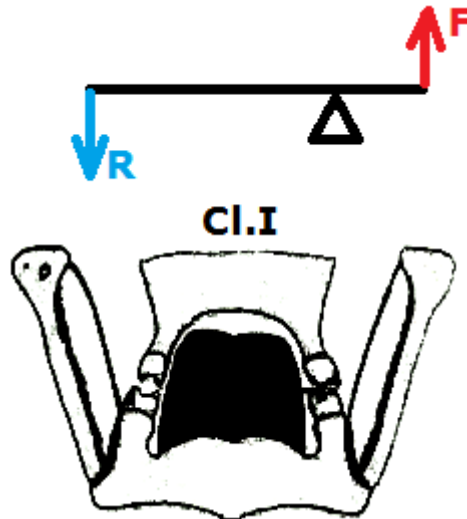


Fig.4.5 - Funcționarea ATM ca o pârghie de gradul I. [119]

În mișcarea de *închidere* forța va acționa posterior fix, iar rezistența la nivel incisiv, luând naștere o pârghie de gradul I cu eficacitate maximă, care va suprasolicita atât molarii cu contacte premature cât și incisivii; suprasolicitarea se poate traduce prin uzură sau mobilitate.

În mișcările de protruzie dacă unghiul incisiv este mai mic decât unghiul condilian, se va exercita o suprasarcina la nivel molar, transformând mandibula într-o pârghie de gradul I. [119]

4.2. Geometria mandibulei

Conform [60] mandibula este considerată o pârghie de gradul al II-lea și are o formă de parabolă de gradul doi (Fig.4.6), a cărei ecuație în sistemul de coordonate Oxy este:

$$y' = c \left(1 - \frac{x^2}{a^2} \right) \quad (4.1)$$

unde:

$c = \overline{OA}$ lungimea mandibulei,

$2a = \overline{HE}$ lățimea mandibulei.

Pe mandibulă se observă un punct opțional $M(x,y)$. Lungimea arcului $s = AM$ este obținută din expresia:

$$s = s(x) = \frac{1}{2a^2} \left[x\sqrt{a^4 + 4c^2x^2} + \frac{a^4}{4c} \ln \frac{2cx + \sqrt{a^4 + 4c^2x^2}}{a^2} \right] \quad (4.2)$$

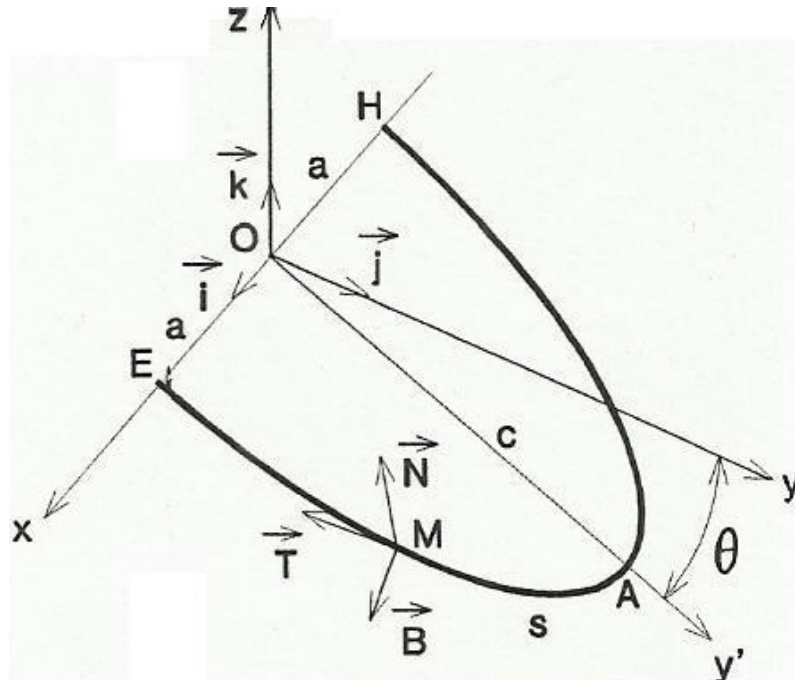


Fig.4.6 [60]

În relație cu planul orizontal Oxy mandibula a fost înclinată la unghiul θ , și s-a stabilit următoarea formulă între coordonata mandibulei y' și coordonatele y și z în sistemul de coordonate $Oxyz$:

$$y = y' \cos \theta, \quad z = -y' \sin \theta \quad (4.3)$$

Dacă presupunem că din relația (4.2) $x = x(s)$ poate fi determinată prin inversiune, atunci coordonata punctului M poate fi dată în funcție de lungimea arcului mandibular.

Stabilim în punctul M sistemul natural de coordonate în plan tangențial după normală și binormală, vectorii unitate fiind \vec{T} , \vec{N} , \vec{B} . Acești vectori pot fi exprimați prin versorii \vec{i} , \vec{j} , \vec{k} ai sistemului de coordonate $Oxyz$. Vectorul \vec{T} are expresia:

$$\vec{T} = \frac{1}{\sqrt{a^4 + 4c^2x^2}} (a^2\vec{i} - 2cx \cos \theta \vec{j} + 2cx \sin \theta \vec{k}) \quad (4.4)$$

În timp ce vectorul \vec{N} este:

$$\vec{N} = \frac{1}{\sqrt{a^4 + 4c^2x^2}} (-2cx\vec{i} - a^2 \cos \theta \vec{j} + a^2 \sin \theta \vec{k}) \quad (4.5)$$

Vectorul \vec{B} este:

$$\vec{B} = -\sin \theta \vec{j} - \cos \theta \vec{k} \quad (4.6)$$

4.3. Încărcările externe și interne ale mandibulei

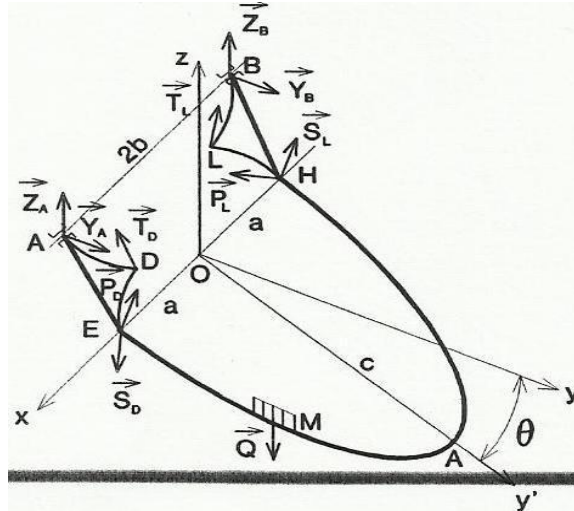


Fig.4.7 [60]

Suportul mandibulei a fost situat în fosele articulare, punctele A și B. A fost fixat de trei perechi de mușchi (maseter S, pterigoidian medial P și temporal T) distribuit procentual, în funcție de secțiunea transversală a mușchiului și spațial în funcție de poziția lor anatomică pe ambele părți ale mandibulei.

Două perechi de mușchi au fost legate în punctele E și H, și o pereche în punctele D și L (Fig.4.7).

Suportul, care este articular în punctele A și B, poate fi considerat unul cilindric pentru că nu împiedică mișcarea mandibulei în direcția Ox.

Prin contracția mușchilor masticatori încărcarea divizată egal, continuă să acționeze asupra mandibulei, Q fiind forța totală a acestei încărcări.

Pe baza datelor experimentale se știe că relația forțelor în mușchi de o parte a mandibulei este:

$$S : P : T = 1,875 : 1 : 2 \quad (4.7)$$

Pentru sistemul format de forțele externe, condițiile de echilibru sunt date de expresiile:

$$\begin{aligned} (T_D - T_L) \cos \alpha_T - (P_D - P_L) \cos \alpha_P + (S_D - S_L) \cos \alpha_S &= 0 \\ Y_A + Y_B - (T_D + T_L) \cos \beta_T - (P_D + P_L) \cos \beta_P + (S_D + S_L) \cos \beta_S &= 0 \\ Z_A + Z_B - (T_D + T_L) \cos \chi_T - (P_D + P_L) \cos \chi_P + (S_D + S_L) \cos \chi_S - Q &= 0 \\ -(Z_A + Z_B) y_0 - (Y_A + Y_B) z_0 + (T_D + T_L) t_x - Q y'_T \cos \theta &= 0 \\ -(Z_A - Z_B) b + (T_D - T_L) t_y - (P_D - P_L) a \cos \chi_P - (S_D - S_L) z \cos \chi_S + Q_{XT} &= 0 \\ -(Y_A - Y_B) b + (T_D - T_L) t_z - (P_D - P_L) a \cos \beta_P + (S_D - S_L) z \cos \beta_S &= 0 \end{aligned} \quad (4.8)$$

În relațiile de mai sus, termenii $(\alpha_p, \beta_p, \chi_p)$, $(\alpha_s, \beta_s, \chi_s)$, $(\alpha_T, \beta_T, \chi_T)$, introduc unghiuri ale căror forțe (P_L, P_D) , (S_L, S_D) , (T_L, T_D) fac din coordonatele axelor x, y, z $(\pm b, -y_0, z_0)$, coordonatele punctelor A și B $(\pm x_1, y_1, z_1)$, coordonatele punctelor D și L, cu următoarele notații:

$$\begin{aligned} t_x &= y_1 \cos \chi_T + z_1 \cos \beta_T \\ t_y &= z_1 \cos \alpha_T - x_1 \cos \chi_T \\ t_z &= x_1 \cos \beta_T + y_1 \cos \alpha_T \end{aligned} \quad (4.9)$$

Din sistemul de ecuații (4.8) și relația (4.7) se obține:

$$\begin{aligned} P_D &= P_L = P, \\ T_D &= T_L = T = 2P, \\ S_D &= S_L = S = 1,875P \end{aligned} \quad (4.10)$$

Determinarea încărcării interne a mandibulei **este de interes pentru chirurghi și dentiști**. Dacă presupunem că mandibula se taie într-un punct p-p, prin mutarea paralelă a tuturor forțelor de la stânga la dreapta în punctul de tăiere p-p, se obține vectorul principal $\overrightarrow{F_{R_{p-p}}}$ care este numeric egal cu suma geometrică a forțelor de pe o parte a secțiunii p-p și momentul principal $\overrightarrow{M_{p-p}}$, care este egal numeric cu suma geometrică a momentelor altei părți a secțiunii p-p.

Forțele axiale în mandibulă reprezintă proiecția vectorului principal pe direcția tangentei:

$$F_{aks} = \overrightarrow{F_{R_{p-p}}} * \overrightarrow{T} = \frac{1}{\sqrt{a^4 + 4c^2 x^2}} [a^2 X_R - (2cx \cos \theta) Y_R + (2cx \sin \theta) Z_R] \quad (4.11)$$

unde semnul (*) denotă produsul scalar și X_R, Y_R și Z_R sunt proiecțiile vectorului principal la axele x, y , și z .

Forțele transversale la nivelul mandibulei au două componente care sunt obținute prin proiectarea vectorului principal la direcțiile normalei și binormalei.

$$P = \frac{1}{2} Q \frac{y_0 + y'_T \cos \theta}{2t_x + y_0(2 \cos \chi_T + \cos \chi_p + 1,875 \cos \chi_s) - z_0(2 \cos \beta_T + \cos \beta_p - 1,875 \cos \beta_s)} \quad (4.12)$$

$$Y_A = Y_B = \frac{1}{2} Q \frac{(2 \cos \chi_T + \cos \chi_p + 1,875 \cos \chi_s)(y_0 + y'_T \cos \theta)}{2t_x + y_0(2 \cos \chi_T + \cos \chi_p + 1,875 \cos \chi_s) - z_0(2 \cos \beta_T + \cos \beta_p - 1,875 \cos \beta_s)} \quad (4.13)$$

$$Z_A = \frac{Q}{2} \left[1 + \frac{x_T}{b} - \frac{(2 \cos \chi_T + \cos \chi_p + 1,875 \cos \chi_s)(y_0 + y'_T \cos \theta)}{2t_x + y_0(2 \cos \chi_T + \cos \chi_p + 1,875 \cos \chi_s) - z_0(2 \cos \beta_T + \cos \beta_p - 1,875 \cos \beta_s)} \right] \quad (4.14)$$

$$Z_B = \frac{Q}{2} \left[1 + \frac{x_T}{b} - \frac{(2 \cos \chi_T + \cos \chi_p + 1,875 \cos \chi_s)(y_0 + y'_T \cos \theta)}{2t_x + y_0(2 \cos \chi_T + \cos \chi_p + 1,875 \cos \chi_s) - z_0(2 \cos \beta_T + \cos \beta_p - 1,875 \cos \beta_s)} \right] \quad (4.15)$$

$$F_{1N} = \overline{F_{R_{p-p}}} * \vec{N} = \frac{1}{\sqrt{a^4 + 4c^2x^2}} [-2cxX_R - (a^2 \cos \theta)Y_R + (a^2 \sin \theta)Z_R] \quad (4.16)$$

$$F_{tB} = \overline{F_{R_{p-p}}} * \vec{B} = -(Y_R \sin \theta + Z_R \cos \theta) \quad (4.17)$$

Momentul de torsiune al mandibulei reprezintă proiecția momentului principal la direcția tangență:

$$M_{tor} = \overline{M_{p-p}} * \vec{T} = \frac{1}{\sqrt{a^4 + 4c^2x^2}} [a^2M_x - (2cx \cos \theta)M_y + (2cx \sin \theta)M_z] \quad (4.18)$$

unde M_x , M_y și M_z sunt proiecțiile momentului principal la axele x , y și z .

Momentul de torsiune a mandibulei are două componente care sunt obținute prin proiectarea momentului principal la direcția normalei și binormalei:

$$M_{fN} = \overline{M_{p-p}} * \vec{N} = \frac{1}{\sqrt{a^4 + 4c^2x^2}} [-2cxM - (a^2 \cos \theta)M_y + (a^2 \sin \theta)M_z] \quad (4.19)$$

$$M_{fB} = \overline{M_{p-p}} * \vec{B} = -(M_y \sin \theta + M_z \cos \theta) \quad (4.20)$$

Pe baza expresiei analitice pot fi arătate încărcările mandibulei în toate secțiunile.

În urma aplicării calculului analitic, din lucrarea [60] se pot trage următoarele concluzii:

- forțele de-a lungul ramului orizontal mandibular sunt distribuite neuniform față de linia mediană;
- există o asimetrie explicită a momentelor forțelor atât în ceea ce privește mărimea lor cât și distribuția acestora pe ramul stâng și respectiv drept.

Pentru înțelegerea fenomenelor care se produc în sistemul stomatognat, cercetătorii au utilizat metode diferite de studii.

Metodele utilizate (fotoelasticimetrie, interferometria holografică, analiza matematică, etc) nu se exclud, ci se completează reciproc aducând un plus de cunoaștere. În cadrul tezei s-a efectuat o cercetare termografică care evidențiază experimental aspectele menționate.

4.4. Metode de tratament ale traumatismelor maxilo-faciale

Principiile biomecanice în tratamentul chirurgical al fracturilor au la bază studii matematice și experimentale, cum este cazul osteosintezei cu miniplăcuțe și șuruburi, studii realizate de Grupul de Studii biomecanice osoase și articulare de la Strasbourg. Osteosinteza monocorticală cu miniplăcuțe se bazează pe considerații anatomice și biologice precise, precum și experimente mecanice care au dus la dezvoltarea trusei și instrumentarului specific. [121]

Grupul de studiu AO (Arbeitsgemeinschaft fur Osteosynthesefragen, Chur/Elveția 1958, apoi AO Foundation, Davos 1984) a condus printre primele cercetări cu referire în special la influențele biomecanice asupra modului de vindecare osoasă. Grupului medical de pionieri AO li s-au alăturat ingineri care au

lucrat împreună pentru dezvoltarea unui sistem integrat de instrumente și implanturi care să facă posibilă fixarea fracturilor respectând principiile biomecanice stabilite în urma studiilor experimentale. Această colaborare fructuoasă dintre medici chirurghi și ingineri a dus la evoluția instrumentarului AO și a tehnicilor chirurgicale pentru folosirea acestuia. [126]

Studiile biomecanice urmăresc reducerea cât mai mult posibilă a deciziilor empirice care uneori mai ghidează chirurgul în planificarea preoperatorie. Deasemenea elimină necesitatea studiilor experimentale pe subiecți umani sau animale care oricum nu sunt posibile sau legale. Tratamentul fracturilor mandibulare este ortopedic și chirurgical. Pentru tratamentul definitiv al fracturilor maxilare, principala metodă chirurgicală este osteosinteza. Aceasta constă în descoperirea chirurgicală a focarului de fractură, reducerea fragmentelor în poziție anatomică sub control vizual direct și solidarizarea lor în această poziție cu ligaturi de sârmă transosoase sau miniplăcuțe de osteosinteză din titan. Osteosinteza în chirurgia oro-maxilo-facială a fost imaginată inițial pentru fracturile de mandibulă, apoi aplicată și la celelalte oase ale feței, fiind astăzi considerată o intervenție de rutină în traumatologie, reconstrucție și chirurgie ortognată.

Considerațiile de ordin estetic precum și particularitățile anatomice ale scheletului viscerocraniului, au constituit dificultăți considerabile în implementarea principiilor biomecanice de bază ale osteosintezei, așa cum aceasta este utilizată în fracturile oaselor lungi. [21]

Obiectivele terapeutice vizează:

- restabilirea ocluziei anterioare;
- reducerea anatomică perfectă a fragmentelor osoase fracturate;
- fixarea completă și stabilă, care să permită mobilizarea regiunii afectate;
- menținerea aportului sanguin al fragmentelor osoase fracturate și a țesuturilor învecinate.

Cei care au pus bazele protocolului modern de osteosinteză folosit în tratamentul fracturilor de mandibulă au fost un grup de chirurghi francezi conduși de Maxime Champy în a doua jumătate a anilor 1970. Datorită formei anatomice unice a mandibulei, Champy a determinat "linia ideală de osteosinteză" la mandibulă, stabilind localizarea miniplăcuțelor la nivelul corticalei vestibulare mandibulare, care să ofere cel mai stabil mijloc de imobilizare. Cea mai eficientă localizare a plăcuței s-a dovedit a fi la nivelul unei linii de tensiune, la baza procesului alveolar inferior de apexurile radiculare ale dinților. Rezultatul acestei poziționări este neutralizarea forțelor de distracție și torsiune prezente la nivelul fracturii, în timp ce sunt restaurate forțele fiziologice de autocompresiune interfragmentare (Fig.4.8).

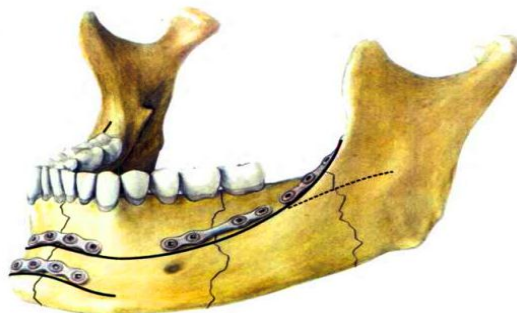


Fig.4.8 - Linia ideală de poziționare a plăcuțelor de osteosinteză la mandibulă. [25]

Osteosinteza monocorticală cu miniplăcuțe a maxilarelor superioare și a craniului poate fi considerată o extensie logică a metodei folosită la mandibulă, având rezultate clinice excelente.

4.5. Studiul termografic în patologia maxilo-facială

4.5.1. Noțiuni de termografie

Termografia reprezintă o investigație neinvazivă, de mare acuratețe, reprezentând o metodă funcțională de diagnostic imagistic.

Principiul metodei se bazează pe măsurarea temperaturii de la suprafața pielii prin mai multe metode: contact direct sau telemetrie. Contactul direct are ca principală metodă folosirea de cristale lichide ce își schimbă culoarea în funcție de temperatura locală. Telemetria constă în calcularea temperaturii într-un punct pe baza energiei emise de acel punct în infraroșu.

Bazele fiziologice ale metodei pleacă de la principiile hipocratice: *fenomene algice, căldură, hiperemie, edem, impotență funcțională*. Transferul tehnologiei militare către tehnica medicală a dus la apariția, începând cu anii șaizeci, a termografiei ca tehnică medicală de investigare neinvazivă.

Deși folosirea imaginilor în infraroșu a crescut semnificativ în numeroase aplicații industriale și de securitate datorită camerelor fotografice folosite, în trecut, termografia a fost mai puțin utilizată în medicină. În prezent camerele digitale cu infraroșu au fost mult îmbunătățite permițând analiza imaginilor capturate, atât static, cât și dinamic.

Camerele moderne permit obținerea distribuției temperaturii în timp real, și acest lucru combinat cu lipsa oricărui contact cu pacientul reprezintă avantajul de bază al termografiei.

Termografia a fost folosită cu succes în diagnosticarea cancerului de sân, a reacțiilor alergice la nivelul pielii, a leziunilor musculo-scheletale de la nivelul articulației mâinii și în diagnosticarea sindromului Raynaud. Practic termografia reprezintă o metodă de diagnostic cu aplicabilitate mare în numeroase leziuni la nivelul mușchilor, organelor interne și structurilor osoase. [12,23]

Prin examinarea termografică se practică măsurarea temperaturii regionale a corpului sau a unui organ intern, utilizând dispozitive de detectare și autoemanarea radiațiilor infraroșii. **Termografia** pornește de la un principiu foarte simplu, dar deosebit de util în diagnostic: **toate bolile modifică temperatura organului afectat**: unele boli scad temperatura organului afectat, altele o cresc.

Termograful analizează temperatura corpului omenesc și măsoară tocmai această modificare a temperaturii organelor în urma afectării lor patologice. Foarte util în acest sens este **gradientul de temperatură**, reprezentat de diferența de temperatură dintre un țesut normal și unul bolnav (hipervascularizat, cu stază vasculară). Deci Termografia este un sistem de scanare în infraroșu.

Undele infraroșii sunt continuarea gamei luminii vizibile din partea culorii roșii a spectrului și de aceea sunt numite infraroșii. Termograful captează un număr imens de informații, atât de multe încât nici măcar nu ar putea fi interpretate dacă nu am avea mijloacele necesare în acest sens. Și aceste mijloace sunt reprezentate de programe superspecializate de calculator care preiau aceste informații, le analizează, le prelucrează și le transformă într-o hartă cromatică, hartă care poate fi

interpretată. Cu ajutorul termografului se pot diagnostica un număr de 150 de boli, ceea ce face din termografie o metodă de diagnostic foarte utilă. [3,26]

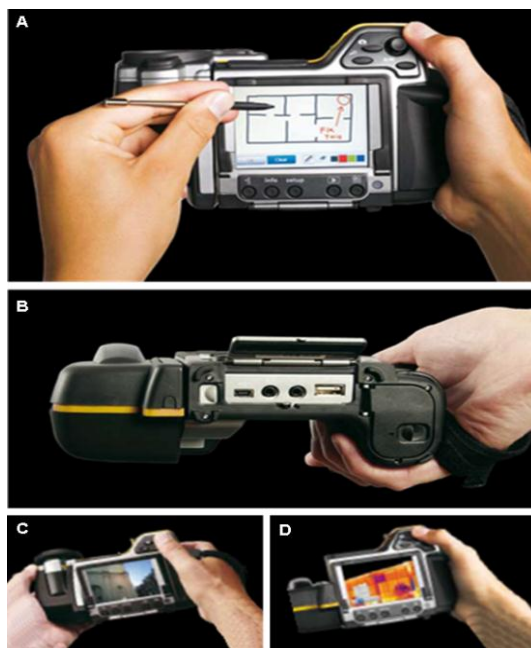


Fig.4.9 - Aparatul FLIR B200 utilizat pentru realizarea studiului termografic. [139]

- A – fața posterioară a aparatului cu display-ul și setarea acestuia.
- B – fața inferioară a aparatului cu haburile de conectare.
- C – imagine fotografică normală la nivelul display-ului.
- D – imagine termografică a aceluiași obiect din figura C.

În acest studiu am utilizat *tehnica termografică pentru a evidenția zonele de contractură musculară ale pacienților cu patologie maxilo-facială, perioperator, zone care sunt supuse stress-ului și suprasolicitării.*

Aparatul foto folosit în studiu este un aparat Flir B200 și prezintă o tehnică care sesizează și înregistrează pe film zonele calde și reci ale organismului prin metode de detectare a radiațiilor infraroșii care reacționează la circulația sanguină.

Principalele caracteristici tehnice ale acestui aparat sunt următoarele:

- rezoluție de 200X150 pixeli;
- 2X zoom digital;
- cameră digitală integrată;
- posibilitatea de a se face adnotații;
- ecran de tip "touch screen";
- lentile infraroșii interschimbabile de 25° și opționale de 15° și 45°.

Aparatul Flir B200 măsoară temperaturi de la -20° la +120°. Camera digitală integrată (de 1,3 Mpixeli) permite observarea și inspectarea mai rapidă și mai ușoară, și în plus prezintă sistemul "picture in picture" care permite suprapunerea stratului infraroșu peste imaginea vizuală.

Zonele intens evidențiate în roșu reprezintă regiunile în care temperatura este mai ridicată, adică zonele de contractură musculară, iar regiunile reprezentate

În culori mai reci: albastru, verde, reprezintă regiunile în care temperatura corpului este mai scăzută.

Pentru realizarea studiului au existat anumite condiții precise de fotografiere:

- **Temperatura ambiantă scăzută.** Temperatura ambiantă trebuie să fie cât mai scăzută pentru a nu da erori în măsurarea temperaturii corpului. Pentru aceasta, încăperea în care s-au realizat imaginile fotografice a fost pregătită corespunzător. Înainte de realizarea imaginilor fotografice, încăperea a fost bine aerisită, apoi a fost pornit aparatul de climă pentru a realiza o temperatură ambiantă scăzută, iar toate becurile au fost stinse înainte de realizarea imaginilor pentru a nu genera căldură ambientală suplimentară.
- **Haine corespunzătoare.** Pacienții au purtat haine cât mai subțiri ca să nu interfere și nici să nu le încălzească corpul.

4.5.2. Descrierea etapelor de tratament

Fiecare segment al aparatului stomatognat are caracteristicile lui anatomice, funcționale și biomecanice, ceea ce explică diversitatea aspectelor clinice pe care le îmbracă afecțiunile maxilo-faciale.

S-au efectuat examinări fotografice asupra unor pacienți înainte și după efectuarea unor proceduri chirurgicale folosind camera termografică FLIR. Imaginile digitale au evidențiat clar prezența și localizarea leziunilor maxilo-faciale pre și post operatorii.

Studiul nostru a fost efectuat pe pacienți cu traumatisme maxilo-faciale, respectiv fracturi ale oaselor maxilare, care prin deplasarea fragmentelor osoase fracturate determina modificări de ocluzie (semn clinic principal de întrerupere a continuității osoase) cu numeroase tulburări funcționale consecutive.

Cauzele fracturilor oaselor feței sunt în ordinea frecvenței: agresiunile umane, accidentele rutiere, accidentele de muncă, căderile accidentale, accidentele sportive, etc. Simptomatologia comună fracturilor maxilare este reprezentată de semne clinice ale întreruperii continuității osoase (modificări ale ocluziei, deformări faciale, mobilitate anormală), tulburări funcționale (masticăție, fonație, deglutiție) și semne clinice asociate leziunilor traumatice (edem, echimoze, hematoame).

Mandibula este singurul os din organism cu dublă articulație, câte una la fiecare extremitate, care articulează cu același os, neurocraniul, prin intermediul osului temporal.

Din acest motiv, reducerea și imobilizarea trebuie să fie perfecte, respectiv raporturile dintre arcadele dentare (ocluzia) trebuie restabilite complet, altfel se modifică poziția condițiilor în ATM. Restabilirea ocluziei reprezintă „cheia” sau reperul de control al reducerii și imobilizării perfecte al fragmentelor fracturate.

În raport cu viscerocraniul, mandibula este un os mobil, raporturile dintre arcadele dentare ghidează și limitează funcțional biodinamica mandibulară. Diagnosticul de fractură se stabilește pe baza unor semne clinice, dar se confirmă obligatoriu prin examen radiografic.

Tratamentul fracturilor este ortopedic, chirurgical și recuperator. În unele forme de fracturi se asociază metodele chirurgicale cu cele ortopedice. Tratamentul ortopedic constă în imobilizarea intermaxilară prin atele și ligaturi de sârmă.

Mandibula este supusă forțelor puternice ale mușchilor masticatori. În regiunea benefică fixării elementelor de stabilizare (zona de tensiune) se află dinții.

Marginea inferioară este singura zonă unde osul este dur, favorabil amplasării materialului de osteosinteză, numai că din punct de vedere biomecanic, bazilarea mandibulei este zonă de compresie, mai puțin indicată plasării dispozitivelor de imobilizare.

În cursul vindecării, la mandibulă, fragmentele osoase fracturate sunt supuse unor puternice forțe biomecanice dinamice, necesitând o imobilizare deosebit de stabilă. Spre deosebire, la maxilar, fragmentele osoase fracturate sunt supuse unor forțe biomecanice statice.

Vindecarea osoasă include patru etape, în continuă evoluție: stadiul inflamator, stadiul calusului fibrocartilaginos, calusul osos primitiv (dur) și faza finală de vindecare – remodelarea osoasă. Această etapă durează de la 4 la 6 săptămâni la adulți, realizându-se sub influența factorilor mecanici. Uneori este necesară o perioadă de recuperare medicală (fizioterapie).

Metodele chirurgicale pot asigura o vindecare primară, care implică formarea directă a calusului osos, fără etapa intermediară de calus fibros. Prin metodele chirurgicale, timpul de consolidare se reduce cu 1 - 2 săptămâni.

4.5.3. Rezultatele studiului termografic al leziunilor maxilo-faciale

Primul caz prezentat: pacientul T.G, 46 ani, cu diagnosticul de dublă fractură de mandibulă ram orizontal drept și subcondilian stâng, cu deplasare minoră, produsă în urma unei căderi accidentale.

Semne clinice: asimetrie facială dată de deformarea etajului inferior al feței, cu tumefacție perimandibulară dreapta, edem genian posttraumatic și deformare a conturului osos al marginii baziliare drepte.

Endooral prezintă inocluzie frontală, mobilitate anormală a fragmentelor osoase fracturate și a dinților din focarul de fractură. Palparea la nivelul ATM relevă mișcări ale condiliilor mandibulari limitate, asimetrice, dureroase.

Tratament: reducere și imobilizare prin mijloace ortopedice.

Al doilea caz: pacientul G.I, 42 ani, cu diagnosticul de fractură maxilomalară stângă, produsă în urma unui accident la ski.

În urma căderii accidentale, datorită impactului puternic la nivelul hemifeței stângi, prezintă echimoze palpebrale bilateral, edem posttraumatic și escoriații faciale multiple.

Endooral se constată tulburări de ocluzie și discontinuitate osoasă la nivelul crestei zigomato-alveolare stângi.

Tratament: reducere și imobilizare prin mijloace ortopedice.

Primul caz fiind cel reprezentativ, va fi prezentat în continuare, celelalte cazuri figurând în ANEXA nr.2.

Studiul s-a realizat în trei ședințe: preoperator (Fig.4.10, Fig.4.11), postoperator la o lună și post operator la un an (Fig.4.12).

Zonele de temperatură maximă sunt localizate la nivelul regiunii perimandibulare drepte, zonă suprapusă peste focarul de fractură al ramului orizontal drept. Punctul de temperatură maximă este plasat în regiunea geniană dreaptă. Asociat se evidențiază zone de temperatură ridicată la nivelul regiunii geniene stângi.

Zonele evidențiate în roșu reprezintă regiunile în care temperatura este mai ridicată, adică zonele cu inflamație iar regiunile care apar în culori reci, albastru și verde, sunt cele în care temperatura feței este mai scăzută.



Fig.4.10 – Imagine termografică a feței, realizată cu aparatul FLIR B200, preoperator (Ar – zonă; Li – linia mandibulei; Sp – spot).

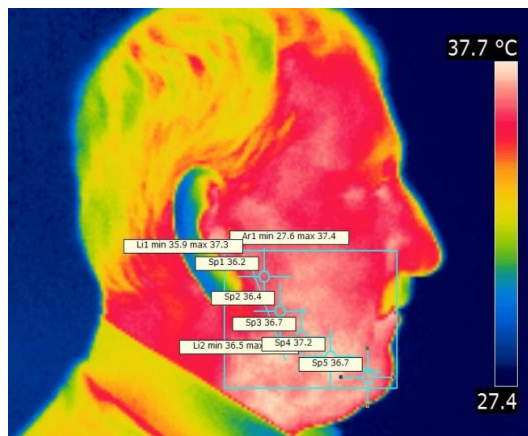


Fig.4.11 – Imagine termografică ram drept mandibular înainte de operație.

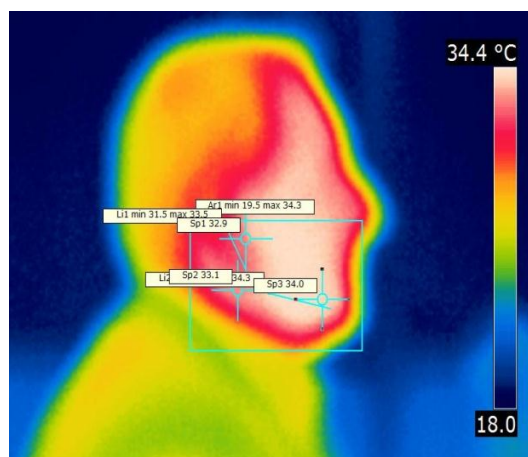


Fig.4.12 – Imagine termografică ram drept mandibular – recuperare completă.

Pe baza imaginilor termografice realizate s-au ridicat curbele de distribuție a temperaturilor pentru cele trei etape urmărite pe ambele ramuri ale corpului mandibular (Fig.4.13, Fig.4.14).

Rezultatele studiului termografic

Prin studiul termografic s-au urmărit în trei stadii, parametri care modifică temperatura la nivelul pielii. La toți pacienții s-au efectuat radiografiile, observându-se suprapuneri ale reacțiilor hipertermice locale cu focarele de fractură evidențiate radiologic.

Imaginile termografice au reflectat transferul de căldură al proceselor hipertermice la suprafața corpului, localizarea și extinderea inflamației în țesuturile afectate. Examinarea clinică și înregistrarea temperaturii prin termografie s-a făcut fără a cauza disconfort, termografia fiind o metodă nedureroasă datorită lipsei oricărui contact cu pacientul.

Distribuția temperaturii se obține în timp real și poate fi ușor repetată de câte ori este necesar, fără a suprasolicita bolnavul.

Curbele de distribuție redată în Fig.4.13 arată o distribuție neuniformă a temperaturilor în cele trei stadii I, II și III, cât și la nivelul ramului drept față de cel stâng (Fig.4.14). S-a constatat că neuniformitatea distribuției temperaturii este mai pronunțată în stadiul II, la o lună postoperator, în plin proces de vindecare osoasă.

Repartiția de temperatură pe ramul stâng

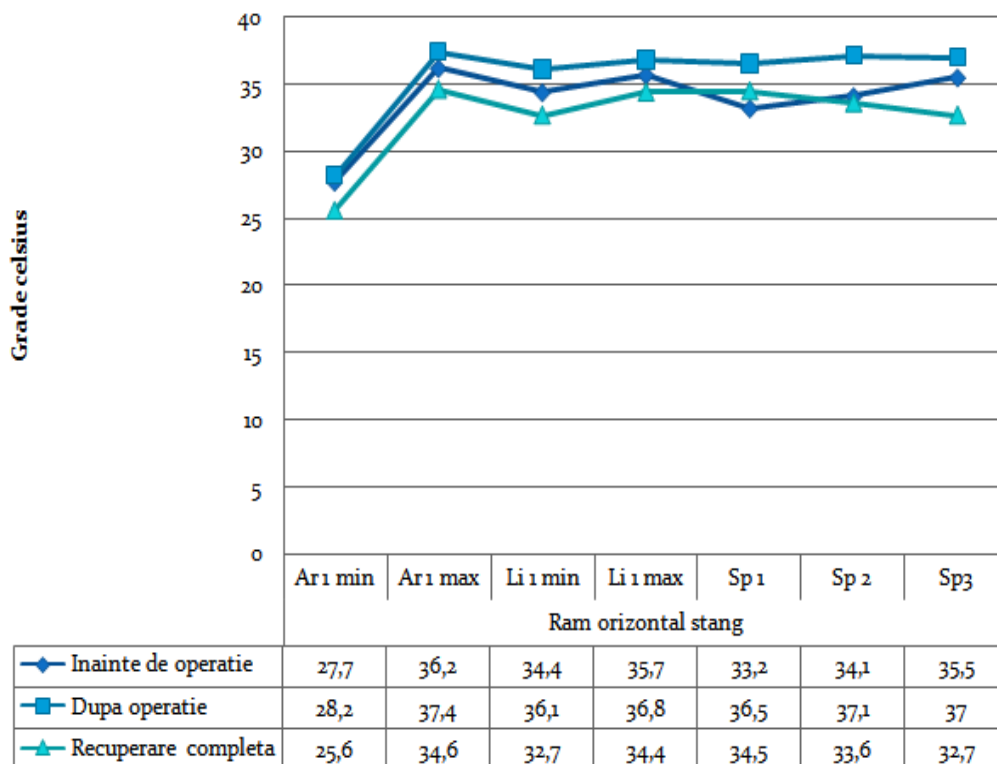


Fig.4.13 – Repartiția de temperatură pe ramul stâng.

În stadiul II, față de I și III cumularea efectelor traumatismului inițial cu traumatismul operator și procesul de vindecare, respectiv de producere a substanței osoase, se reflectă prin cea mai neuniformă curbă de distribuție a temperaturii de-a lungul corpului mandibular, cât și la nivelul ramului drept față de cel stâng.

Repartiția de temperatură pe ramul drept

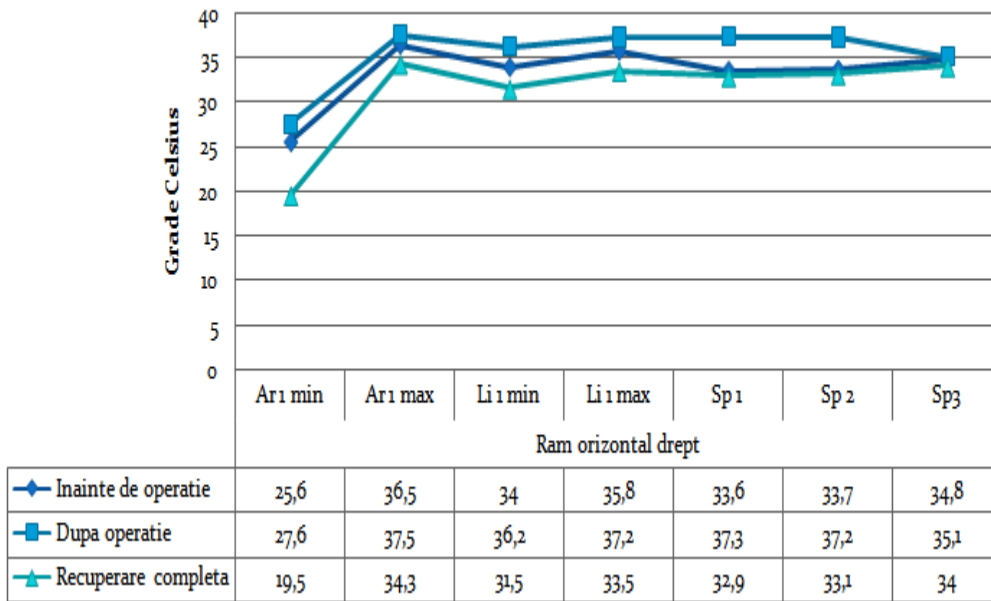


Fig.4.14 – Repartiția de temperatură pe ramul drept.

Evaluarea termografică a procesului inflamator posttraumatic a demonstrat că la nivelul țesuturilor afectate au loc modificări ale fluxului sanguin cu producție de căldură, evidențiate în cele trei ședințe de termografie, prin zonele intens colorate în roșu (preoperator, postoperator și la recuperarea completă).

În ceea ce privește repartiția încărcărilor (forțe, momente) datorate traumatismelor, se observă prin variații pozitive ale temperaturilor, zonele cu contractură musculară accentuată. În toate cele trei etape se manifestă o distribuție neuniformă și o asimetrie a temperaturii, respectiv a încărcărilor de-a lungul corpului mandibular, cât și pe ramul drept față de cel stâng.

Aceasta concordă cu dezvoltarea și concluziile studiului analitic matematic prezentat în subcapitolul 4.3, respectiv cu datele din literatura de specialitate.

Se observă totuși că neuniformitatea distribuției (temperaturii, încărcărilor) este mai pronunțată în stadiul II, la o lună postoperator.

5. Analiza biomecanică a posturii

5.1. Alcătuirea și analiza structurală a unui lanț cinematic osteo-articular

În domeniul medical, corpul uman se raportează la sistemul de axe și plane ca în figura 5.1.

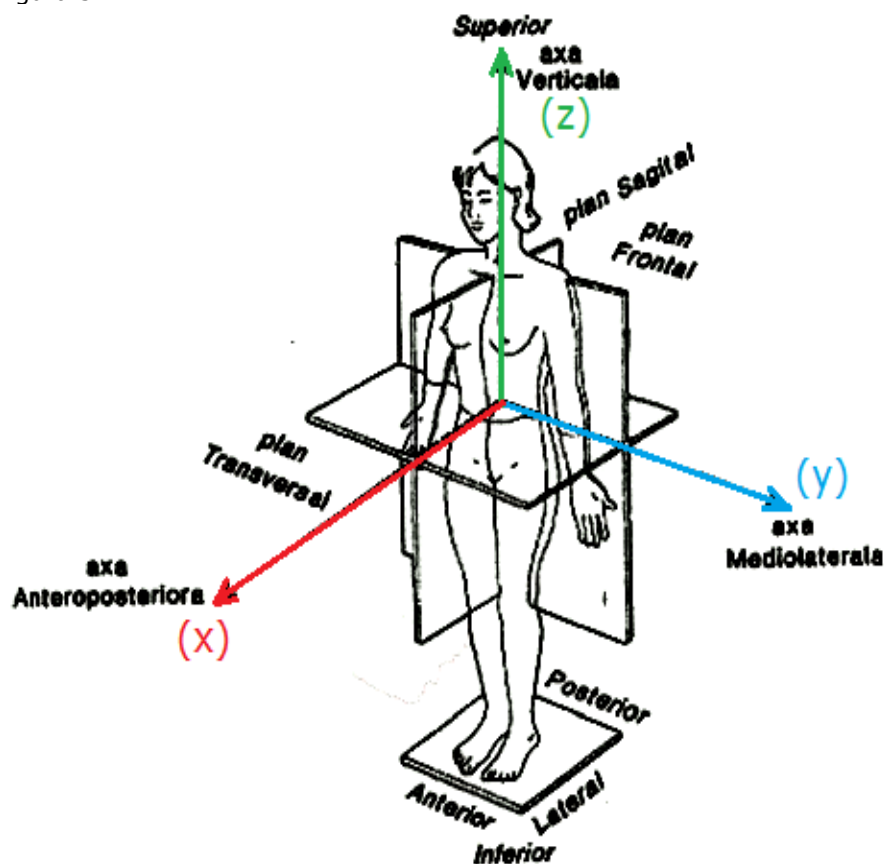


Fig.5.1 - Sistem de referință relativă. [134]

Pentru studiul încărcărilor se folosește un model biomecanic uman alcătuit dintr-un lanț cinematic care conține o succesiune de elemente, cuple cinematice, articulații (Fig.5.2).

Articulațiile realizează legătura fie între oase, fie între cartilaj și os, fie între dinți și oase, aceasta legătura permițând un mai mare sau mai mic grad de mișcare. Biomecanica analizează aceste articulații doar din perspectiva mișcării acestora.

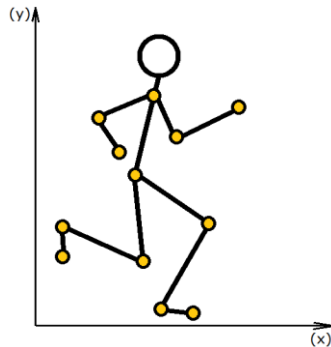


Fig.5.2 – Lanțul cinematic uman. [134]

Aceste articulații întâlnite în biomecanică pot permite una, două sau trei mișcări relative între cele două corpuri osoase. Astfel, există:

- ❖ articulații care permit o *singură mișcare relativă*:
 - **artrodii** – permit numai mișcarea de translație. În figura 5.3 este reprezentată o articulație scafocuneană a piciorului.



Fig.5.3 - Articulația scafocuneană. [134]

- **cilindroide** – permit numai mișcarea de rotație relativă în jurul unei axe longitudinale. În figura 5.4 este reprezentată articulația cilindroidă trohleană a cotului (humerocubitoradială) iar în figura 5.5 articulația cilindroidă trohoidă radiocubitală superioară.

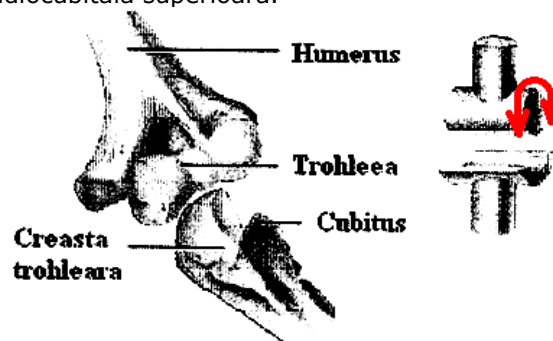


Fig.5.4 - Trohleartroza cotului. [22]

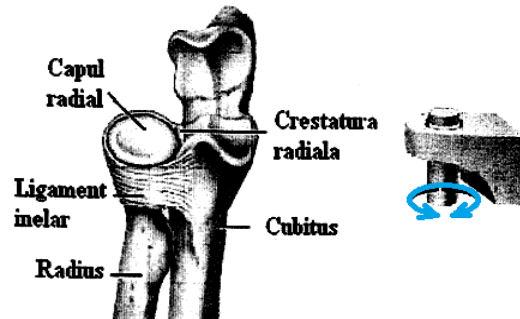


Fig.5.5 - Articulația radiocubitală superioară. [134]

- ❖ articulații care permit *două mișcări relative*:
 - **elipsoide** – permit două mișcări relative de oscilație datorită suprafețelor ovale, elipsoide de contact; mișcările biaxiale sunt de flexie+extensie și de abducție-adducție. În figura 5.6 este reprezentată o diartroză elipsoidă (sau condiliană) și anume articulația radiocarpiană formată între suprafețele articulare ale antebrățului și oaselor carpiene.

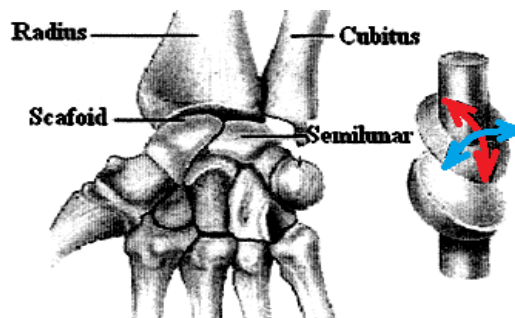


Fig.5.6 - Articulația radiocarpiană. [134]

- **șelare** – sau în formă de șa, au suprafețele articulare una de formă convexă iar cealaltă de formă concavă în sens invers, permițând mișcările biaxiale de flexie-extensie și de abducție-adducție cu posibilități reduse de circumducție și de opoziție; au un mare grad de stabilitate articulară. În figura 5.7 este prezentată articulația trapezometacarpiană a policelui.

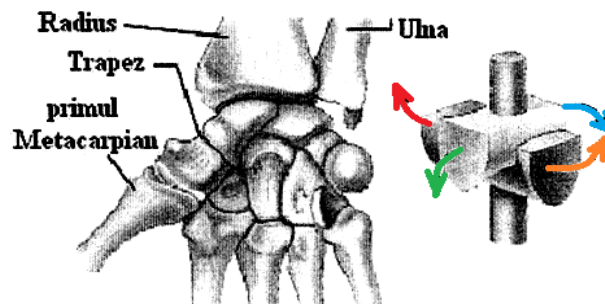


Fig.5.7 - Articulația trapezometacarpiană a policelui. [134]

- ❖ articulații care permit *trei mișcări relative*- articulații sferoidale (enartroze) alcătuite dintr-un cap articular sferoidal, mai mic sau mai mare decât o semisferă și dintr-o suprafață concavă, mai întinsă sau mai scobită, de recepție. Aceste articulații sunt situate la joncțiunea dintre centuri și membrul liber, ca în articulațiile umărului și șoldului.

Mișcările relative independente sunt de rotație în jurul a trei axe de coordonate, conducând la posibilitatea de execuție a tuturor mișcărilor posibile:

- flexia-extensia
- mișcările de lateralitate
- abducția și adducția
- rotația și circumducția.

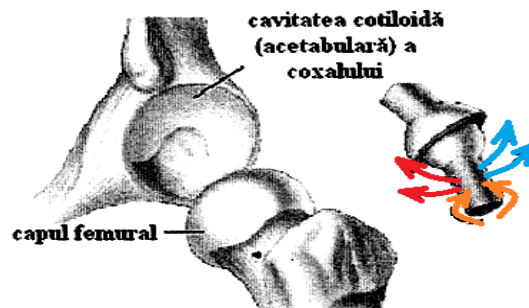


Fig.5.8 - Articulația coxofemurală. [134]

În figura 5.8 este reprezentată o astfel de articulație și anume articulația coxofemurală. Segmentele osoase asupra cărora acționează mușchii se comportă asemenea pârghiilor din fizică. [22,134]

5.2. Adaptarea structurii scheletale la încărcările funcționale

În figura 5.9 sunt relevate, prin secțiuni longitudinale printr-un os, posibilele explicații privind corespondența dintre structura osului și încărcările mecanice suportate, în conformitate cu cele două teorii.

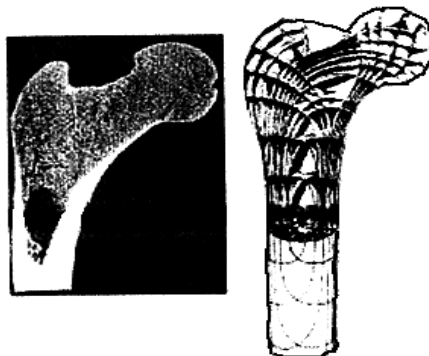


Fig.5.9 - Arhitectura unui os. [134]

Structura internă a osului poate fi explicată și prin prisma încărcării mecanice suportate. Astfel, pornind de la legea lui Wolff, au apărut mai multe teorii care încearcă să facă legătura dintre structura lamelară a osului și tensiunile mecanice suportate, teorii precum *teoria rezistenței uniforme* (Fig.5.10); structura este astfel alcătuită încât orice parte de material este supusă aceleiași tensiuni maxime, sub acțiunea unui sistem dat de încărcări) și *teoria traiectoriei arhitecturale* (structura este alcătuită așa încât materialul este amplasat numai pe traiectoriile de transmitere a forțelor, în celelalte părți fiind goluri).

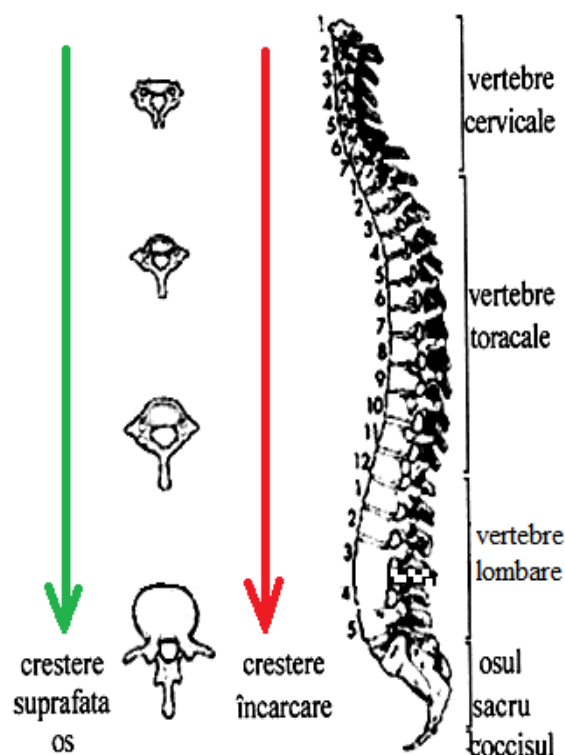


Fig.5.10 - Adaptarea structurii scheletale la încărcările funcționale. [134]

Lungimile segmentelor corpului uman, având ca repere de măsură fie centrele articulațiilor, fie capetele segmentate, se pot calcula funcție de înălțimea întregului corp. În figura 5.11 este reprezentată o schemă generală de calcul pentru unele mărimi (lungimi) segmentare.

La determinarea valorilor parametrilor antropometrici dinamici trebuie să se țină cont de următoarele două principii:

- principiul estimării – conversia mărimilor statice în mărimi dinamice trebuie să țină cont de observațiile experimentale: de exemplu, statura corpului în regim dinamic este de aproximativ 97% din înălțimea staturii statice, iar lungimea brațului în regim dinamic poate atinge 120% din lungimea statică a brațului).
- principiul însumării – întregul corp participă la determinarea valorilor parametrilor antropometrici dinamici: de exemplu, la calculul lungimii

brațului în regim dinamic se însumează lungimea brațului în regim static, mișcarea umărului, rotația parțială a trunchiului și spatelui și mișcarea mâinii.

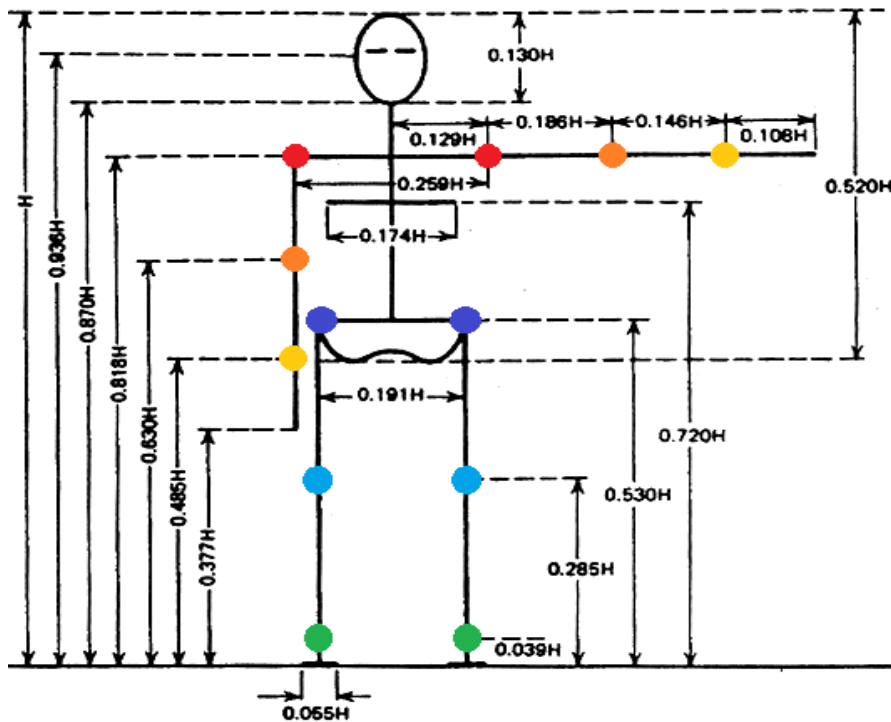


Fig.5.11 - Calculul unor mărimi segmentare. [22]

5.3. Metoda multisegment pentru determinarea centrelor de masă

Poziția centrului de masă al unui sistem multisegment (ca, de exemplu, ansamblul membrului inferior) poate fi calculată și analitic, folosind fie teorema compunerii centrelor de masă, fie metoda multi-segment de echilibru.

Teorema compunerii centrelor de masa are următorul enunț: dacă un corp sau un sistem de corpuri aflate într-o poziție dată poate fi descompus într-un număr determinat de porțiuni simple sau subsisteme de mase cunoscute m ($i=1\dots n$) cu pozițiile centrelor de masă respective determinate prin vectorii r_{ci} , atunci poziția centrului de masă al întregului corp sau sistem de corpuri este dată de relația:

$$\vec{r}_C = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot \vec{r}_{Ci}}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (5.1)$$

Metoda multisegment de echilibru pornește de la observația că momentul greutateilor fiecărui segment în raport cu originea sistemului de axe ales este egal cu momentul greutateii totale a sistemului multisegment în raport cu același pol.

5.4. Tipuri de mișcări și caracterizarea lor cinematică

Mișcările elementare posibile ale unui corp sunt: mișcarea de translație și mișcarea de rotație. Toate celelalte mișcări ale corpului, precum mișcările de rototranslație, pivotare, plan-paralelă, etc, se obțin prin combinarea celor elementare, considerate în plan sau spațiu. Mișcarea corpului sau a segmentelor cinematice se raportează, întotdeauna, la un sistem de referință. Prin **sistem de referință** se înțelege un reper nedeformabil față de care se raportează pozițiile unui sistem material. Sistemele de referință pot fi fixe sau mobile, astfel încât mișcarea raportată la un sistem de referință considerat fix poartă numele de **mișcare absolută** iar mișcarea raportată la un sistem de referință mobil se numește **mișcare relativă**. [22]

Gradul de libertate al unui lanț cinematic osos reprezintă numărul total de mișcări independente pe care îl poate avea acel lanț cinematic în condițiile restricțiilor date de articulații. Corpul execută o mișcare de translație atunci când în tot timpul mișcării un segment de dreaptă ce aparține corpului rămâne paralel cu el însuși (Fig.5.12).

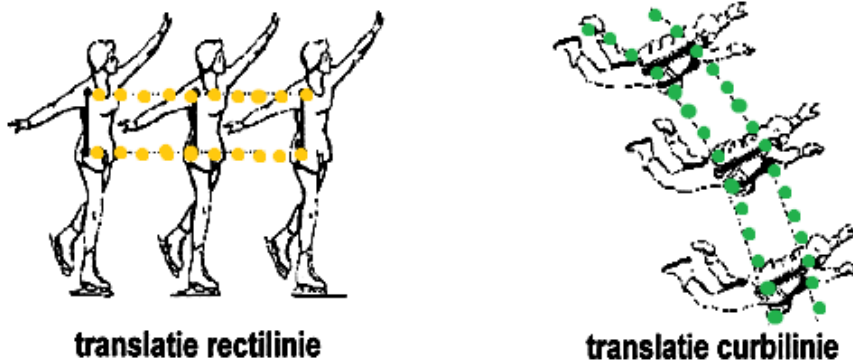


Fig.5.12 - Mișcarea de translație. [22]

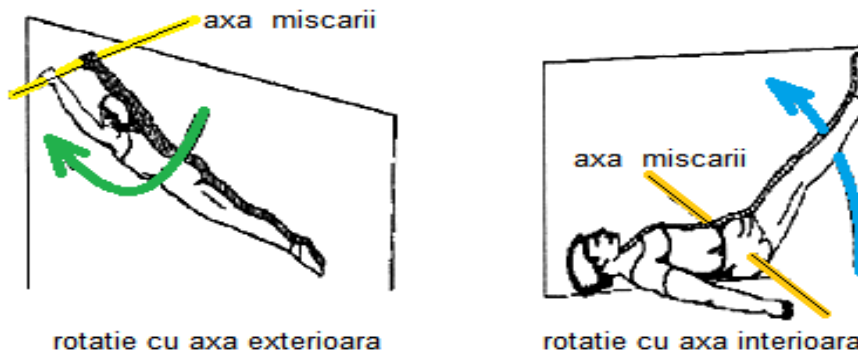


Fig.5.13 - Mișcarea de rotație. [22]

Corpul execută o mișcare de rotație în jurul unui ax fix atunci când în tot timpul mișcării două puncte ale corpului rămân fixe în spațiu (Fig.5.13).

5.5. Calculul gradelor de libertate

Gradul de libertate se calculează funcție de mișcările (spațiale sau plane) lanțului cinematic osteo-articular [22], astfel:

$$\text{> în cazul spațial: } L = 6 \cdot n - 5 \cdot a_5 - 4 \cdot a_4 - 3 \cdot a_3 - 2 \cdot a_2 - 1 \cdot a_1, \quad (5.2)$$

unde:

- ◆ n – numărul total de elemente cinematice (oase sau segmente corporale);
- ◆ a_5 – numărul total de articulații de clasa 5;
- ◆ a_4 – numărul total de articulații de clasa 4;
- ◆ a_3 – numărul total de articulații de clasa 3;
- ◆ a_2 – numărul total de articulații de clasa 2;
- ◆ a_1 – numărul total de articulații de clasa 1.

$$\text{> în cazul plan: } L = 3 \cdot n - 2 \cdot a_5 - 1 \cdot a_4, \quad (5.3)$$

unde:

- ◆ n – numărul total de elemente cinematice (oase sau segmente corporale);
- ◆ a_5 – numărul total de articulații de clasa 5;
- ◆ a_4 – numărul total de articulații de clasa 4.

5.6. Echilibru static și dinamic

Condiția necesară și suficientă ca un sistem de forțe F_i ($i=1,2,\dots,n$), care acționează asupra unui corp solid liber să fie în echilibru este ca taylorul de reducere al acestui sistem de forțe, în raport cu un punct oarecare O , să fie echivalent cu zero, respectiv (Fig.5.1):

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^n F_i = 0 \quad (5.4)$$

$$\bar{M}_O = \sum_{i=1}^n (\bar{r}_i \times \bar{F}_i) = 0 \quad (5.5)$$

unde prin taylor se înțelege ansamblul format din două componente vectoriale: forța și momentul polar al forței. Sistemul reprezintă ecuațiile generale de echilibru static ale unui corp. [134]

Cu ajutorul ecuațiilor scalare de echilibru se pot rezolva în statică următoarele categorii de probleme, atât pentru un corp solid izolat, cu sau fără legături exterioare și interioare de tipul lanțurilor cinematice:

- > probleme de tip direct: se cunosc forțele care acționează asupra corpului sau sistemului biomecanic și se cere poziția lui de echilibru. În general, astfel de probleme au o soluție unică, fiind static determinate, însă se poate întâmpla

ca sistemul de ecuații de echilibru să fie nedeterminat sau imposibil, situații în care există o infinitate de poziții de echilibru sau, respectiv, nici una;

- probleme de tip indirect: se cunoaște poziția de echilibru a corpului sau sistemului biomecanic și se cere sistemul de forțe care trebuie să acționeze asupra lui pentru a-l menține în echilibru în poziția considerată. Astfel de probleme sunt în general nedeterminate pentru că se pot imagina o infinitate de sisteme de forțe care mențin corpul sau sistemul biomecanic în echilibru într-o poziție dată.

Dacă numărul necunoscutelor este egal cu cel al ecuațiilor de echilibru, atunci problemele din această categorie pot avea o soluție unică, fiind static determinate.

- probleme de tip mixt: cunoscându-se unii dintre parametrii poziției de echilibru și unele dintre caracteristicile forțelor care solicită acel corp sau sistem biomecanic, se cere să se determine celelalte caracteristici necunoscute care privesc atât sistemul de forțe cât și poziția de echilibru.

Echilibrul dinamic presupune în plus față de echilibrul static și considerarea forțelor și momentelor de inerție. Astfel, pornind de la ecuația fundamentală a dinamicii:

$$dm \cdot \bar{a} = d\bar{F}_a + d\bar{F}_p + d\bar{F}_{int} \quad (5.6)$$

unde:

\bar{a} - accelerația masei elementare;

$d\bar{F}_a$ - forțe elementare exterioare active;

$d\bar{F}_p$ - forțe elementare exterioare pasive;

$d\bar{F}_{int}$ - forțe interioare,

sunt formulate în literatura de specialitate teoremele fundamentale ale dinamicii (teorema impulsului, teorema momentului cinetic, teorema tursorului impulsului și teorema energiei), cu ajutorul cărora sunt exprimate matematic ecuațiile de echilibru dinamic ale unui corp sau ansamblu de corpuri cu legături între ele.

Ecuațiile dinamicii pot fi determinate fie pornind de la ecuații vectoriale de echilibru dinamic, bazate pe teorema tursorului impulsului, fie pornind de la ecuații analitice, bazate pe teorema energiei și pe principiile variațional-diferențiale, fundamentate de matematicianul francez Joseph-Louis Lagrange.

Ecuațiile vectoriale de mișcare - ecuațiile dinamicii - pot fi scrise pentru corpurile izolate ale sistemului biomecanic dat sau pentru întregul sistem de corpuri cu legături.

Astfel, pentru un corp izolat „i” al sistemului dinamic, ecuațiile vectoriale de mișcare corespunzătoare teoremei tursorului impulsului sunt de forma:

$$m_i \cdot \bar{a}_{C_i} = \bar{F}_{ext ai} + \bar{F}_{ext pi} + \bar{F}_{int ai} + \bar{F}_{int pi} \quad (5.7)$$

$$\frac{d}{dt}(K_{C_i})_r + \bar{\omega}_i \times \bar{K}_{C_i} = \bar{M}_{ext ai} + \bar{M}_{ext pi} + \bar{M}_{int ai} + \bar{M}_{int pi} \quad (5.8)$$

Prin proiectarea primei ecuații vectoriale a sistemului pe axele reperului fix și a celei de-a doua ecuații vectoriale pe axele reperului mobil, solidar corpului I, se obține un sistem de ecuații scalare în număr de 6, respectiv:

$$\left\{ \begin{array}{l} m_i \cdot \ddot{x}_{C_i} = \bar{F}_{ext\ ai_x} + \bar{F}_{ext\ pi_x} + \bar{F}_{int\ ai_x} + \bar{F}_{int\ pi_x} \\ m_i \cdot \ddot{y}_{C_i} = \bar{F}_{ext\ ai_y} + \bar{F}_{ext\ pi_y} + \bar{F}_{int\ ai_y} + \bar{F}_{int\ pi_y} \\ m_i \cdot \ddot{z}_{C_i} = \bar{F}_{ext\ ai_z} + \bar{F}_{ext\ pi_z} + \bar{F}_{int\ ai_z} + \bar{F}_{int\ pi_z} \\ I'_{ix} \cdot \dot{\omega}'_{ix} + (I'_{iz} - I'_{iy}) \cdot \omega'_{iy} \cdot \omega'_{iz} = M'_{ext\ a_{C_{ix}}} + M'_{ext\ p_{C_{ix}}} + M'_{int\ a_{C_{ix}}} + M'_{int\ p_{C_{ix}}} \\ I'_{iy} \cdot \dot{\omega}'_{iy} + (I'_{ix} - I'_{iz}) \cdot \omega'_{iz} \cdot \omega'_{ix} = M'_{ext\ a_{C_{iy}}} + M'_{ext\ p_{C_{iy}}} + M'_{int\ a_{C_{iy}}} + M'_{int\ p_{C_{iy}}} \\ I'_{iz} \cdot \dot{\omega}'_{iz} + (I'_{iy} - I'_{ix}) \cdot \omega'_{ix} \cdot \omega'_{iy} = M'_{ext\ a_{C_{iz}}} + M'_{ext\ p_{C_{iz}}} + M'_{int\ a_{C_{iz}}} + M'_{int\ p_{C_{iz}}} \end{array} \right. \quad (5.9)$$

Dacă sistemul biomecanic are un număr de n corpuri cu legături, atunci se va obține un sistem de $6n$ ecuații diferențiale de echilibru dinamic.

Pornind de la teorema torsorului impulsului scrisă pentru un element izolat al sistemului considerat, dacă se notează:

$$-\dot{\bar{H}}_i = -m_i \cdot \bar{a}_{C_i} = \bar{F}_i^i, \quad -\bar{K}_{C_i} = \bar{M}_{C_i}^i, \quad (5.10)$$

solicitările de inerție, atunci pot fi scrise ecuațiile vectoriale de echilibru dinamic ale lui d'Alembert, de forma:

$$\bar{F}_{ext\ ai} + \bar{F}_{ext\ pi} + \bar{F}_i^i + \bar{F}_{int\ ai} + \bar{F}_{int\ pi} = 0 \quad (5.11)$$

$$M_{ext\ a_{C_i}} + M_{ext\ p_{C_i}} + \bar{M}_{C_i}^i + M_{int\ a_{C_i}} + M_{int\ p_{C_i}} = 0 \quad (5.12)$$

Prin însumarea ecuațiilor de echilibru dinamic ale tuturor corpurilor sistemului biomecanic de corpuri cu legături și ținând cont de faptul că solicitările interioare, prin însumare, se anulează reciproc, respectiv:

$$\sum_{i=1}^n (\bar{F}_{int\ ai} + \bar{F}_{int\ pi}) = 0 \quad (5.13)$$

$$\sum_{i=1}^n (\bar{M}_{int\ a_{C_i}} + \bar{M}_{int\ p_{C_i}}) = 0 \quad (5.14)$$

atunci ecuațiile vectoriale ale sistemului dinamic sunt de forma următoare, denumite ecuațiile de echilibru dinamic ale lui d'Alembert scrise pentru întregul sistem de corpuri cu legături:

$$\sum_{i=1}^n (\bar{F}_{ext\ ai} + \bar{F}_{ext\ pi} + \bar{F}_i^i) = 0 \quad (5.15)$$

$$\sum_{i=1}^n (\bar{M}_{int\ a_{C_i}} + \bar{M}_{int\ p_{C_i}} + \bar{M}_{C_i}^i) = 0 \quad (5.16)$$

Prin proiectarea ecuațiilor vectoriale ale sistemului pe axele reperului fix, se obțin ecuațiile scalare de mișcare ale sistemului biomecanic, de forma:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n (F_{ext ai_x} + F_{ext pi_x} + F_{i_x}^i) = 0 \\ \sum_{i=1}^n (F_{ext ai_y} + F_{ext pi_y} + F_{i_y}^i) = 0 \\ \sum_{i=1}^n (F_{ext ai_z} + F_{ext pi_z} + F_{i_z}^i) = 0 \\ \sum_{i=1}^n (M_{ext ai_x} + M_{ext pi_x} + M_{i_x}^i) = 0 \\ \sum_{i=1}^n (M_{ext ai_y} + M_{ext pi_y} + M_{i_y}^i) = 0 \\ \sum_{i=1}^n (M_{ext ai_z} + M_{ext pi_z} + M_{i_z}^i) = 0 \end{array} \right.$$

(5.17)

ecuații asemănătoare acelor din statică, ele formând așa numita metodă cinetostatică.

Ecuatiile analitice de mișcare ale lui Lagrange au avantajul, atunci când se analizează numai mișcarea, că nu conțin nici una dintre reacțiunile necunoscute ale legăturilor pasive, exterioare și interioare, aplicate corpurilor sistemului biomecanic dat. Aceste ecuații cunoscute mai ales sub denumirea de ecuațiile lui Lagrange de specia a doua, sunt ca număr egale cu numărul gradelor de libertate al sistemului biomecanic dat și au următoarea exprimare matematică:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_{cin}}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial E_{cin}}{\partial q_j} = Q_{aj} + Q_{dj}, \quad (j=1,2,\dots,p) \quad (5.18)$$

unde E_{cin} – energia cinetică a sistemului biomecanic;

$$Q_{aj} = \sum_{i=1}^n \left(\bar{F}_{ai} \cdot \frac{\partial \bar{r}_{Ci}}{\partial q_j} + M_{aCi} \cdot \frac{\partial \bar{\varphi}_i}{\partial \dot{\varphi}_i} \right) \quad (j=1,2,\dots,p) \quad (5.19)$$

forțele generalizate active corespunzătoare gradului de libertate „j” al sistemului;

$$Q_{dj} = \sum_{i=1}^n \left(\bar{F}_{pi} \cdot \frac{\partial \bar{r}_{Ci}}{\partial q_j} + M_{pCi} \cdot \frac{\partial \bar{\varphi}_i}{\partial \dot{\varphi}_i} \right), \quad (j=1,2,\dots,p) \quad (5.20)$$

forțele generalizate pasive corespunzătoare gradului de libertate „j” al sistemului;

q_j – parametrul geometric independent corespunzător gradului de libertate „j” al sistemului de corpuri cu legături;

\bar{r}_{Ci} – poziția centrului de masă a corpului „i” aparținând sistemului biomecanic;

$\frac{\partial}{\partial q_i}$ – derivata parțială a unei funcții (vectoriale sau scalare) în raport cu coordonata generalizată q_j .

Dacă se folosesc ecuațiile de mișcare corespunzătoare teoremei torsorului impulsului, scrise pentru fiecare element al unui sistem de corpuri solide cu legături, sau se folosesc ecuațiile de echilibru dinamic ale lui d'Alembert, scrise tot pentru elementele izolate ale sistemului dat, atunci sistemul algebric la care se ajunge conține toate necunoscutele: parametri geometrici independenți și cu toate reacțiunile legăturilor, exterioare și interioare.

În schimb, dacă se folosesc ecuațiile de mișcare corespunzătoare teoremei torsorului impulsului sau ecuațiile de echilibru dinamic ale lui d'Alembert, scrise pentru întregul sistem, atunci sistemul algebric la care se ajunge conține drept necunoscute parametrii geometrici independenți și reacțiunile legăturilor exterioare.

Prin scrierea ecuațiilor analitice de mișcare ale lui Lagrange, se obțin în mod direct ecuațiile mișcării, care conțin drept necunoscute numai parametrii geometrici independenți ai sistemului dat.

Aceste ecuații mai poartă denumirea de ecuațiile mecanicii analitice.

5.7. Determinarea forțelor de reacțiune din articulația gleznei în condiții dinamice

Considerate împreună, articulația tibiotarsiană (Fig.5.14) și articulația astragalocalcaneeană au fost asemănat de G. Gauhier (1977) cu o transmisie cardanică (Fig.5.15).

Axul de rotație al articulației tibiotarsiene fiind plasat perpendicular pe axul de rotație al articulației astragalocalcaneene (axul Henke), indiferent dacă tibia sau calcaneul oscilează pe astragal, aceasta reușește să se mențină în plan orizontal. [102]

Modelul biomecanic simplificat al acestei articulații este reprezentat în figura 5.16. Contactul între cele două componente articulare se face pe o suprafață cilindrică corespunzând unui unghi la centru de circa 70-80°.

Din poziția anatomică, talusul se rotește cu 20-30° în cazul flexiei dorsale a piciorului și cu 30-50° în cazul mișcărilor de flexie plantară.

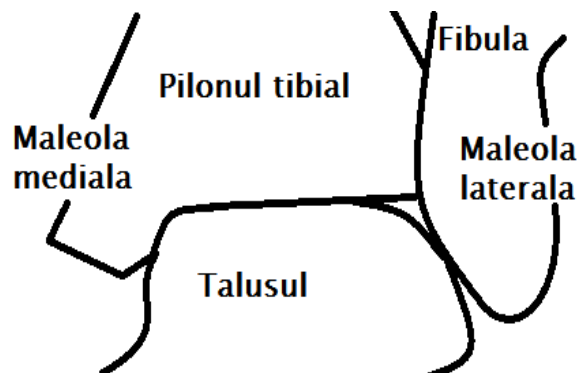


Fig.5.14 - Componenta articulației gleznei. [102]

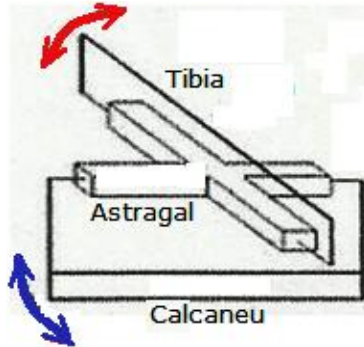


Fig.5.15 - Cardanul tibioastragalocalcanean. [102]

În plan frontal, axa empirică a articulației gleznei face un unghi de 80° cu axa de simetrie longitudinală a tibiei și trece foarte aproape de vârful maleolelor (Fig.5.16).

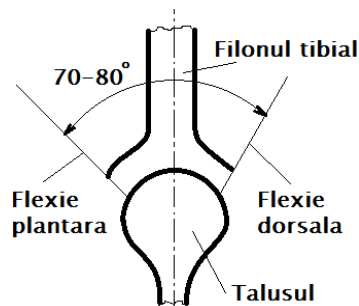


Fig.5.16 - Modelul simplificat al articulației gleznei. [102]

Pentru determinarea forțelor de reacțiune și a momentului din articulația gleznei vom folosi metoda dinamică inversă în care mărimile cinematice (forțele de reacțiune ale solului și dimensiunile antropometrice) sunt considerate date de intrare pentru rezolvarea sistemului biomecanic. [102]

Această metodă de calcul presupune următoarele condiții:

- corpul uman este împărțit în lanțuri cinematice;
- la rândul lor aceste lanțuri se împart pe segmente;
- segmentele sunt considerate corpuri rigide;
- forțele de frecare cu aerul și din articulație sunt nule.

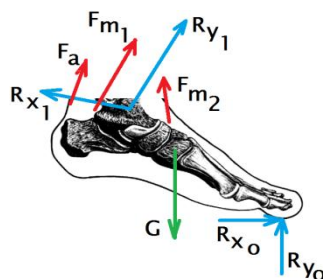


Fig.5.17 - Modelul biomecanic al sistemului gleznă-picior. [102]

Asupra sistemului gleznă-picior acționează două tipuri de forțe, unele interne (forțele de reacțiune din articulație R_{x,y_1} , forța din tendonul lui Ahile F_a , forța dezvoltată de mușchiul triceps al gambei F_{m1} , forța dezvoltată de mușchiul tibial anterior F_{m2} , forța de greutate G), respectiv forțe externe (forțele de reacțiune ale solului asupra piciorului R_{x_0,y_0}), din figura 5.17.

Folosindu-ne de cea de-a doua lege a lui Newton, în plan vom avea trei ecuații de mișcare, dar numărul necunoscutelor este mai mare, deci nu se pot determina.

Soluția acestei probleme ar fi reducerea necunoscutelor la un număr de trei (forțele de reacțiune din articulația gleznei și momentul generat de forțele musculare). Reducerea necunoscutelor se face după cum urmează (Fig.5.18):

- se consideră F ca fiind suma tuturor forțelor musculare și al tendoanelor;
- se deplasează punctul de aplicare al acestei forțe în articulația gleznei, iar forța F se transformă în F^* ;
- forței F^* îi corespunde o forță de echilibru care are același punct de aplicație, are aceeași direcție dar este de sens contrar ($-F^*$);
- cuplul forțelor (F^* , $-F^*$) dă naștere unui moment efectiv ce acționează în articulația gleznei M_g .

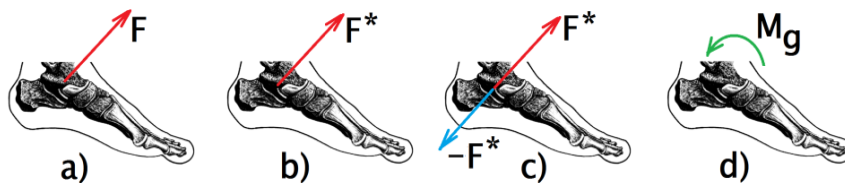


Fig.5.18 - Generarea momentului net muscular în articulația gleznei. [102]

Folosind perioadele fazei de suport ale piciorului pe sol (fig.5.18) se pot determina forțele de reacțiune precum și momentul net generat de forțele musculare, moment ce acționează în articulația gleznei și face ca piciorul să se rotească.

Când piciorul intră în contact cu solul (10% din faza de sprijin a piciorului pe sol), aplicând cea de-a doua lege a lui Newton, ecuațiile de echilibru ale sistemului biomecanic se pot scrie după cum urmează:

$$\begin{aligned}\sum F_x &= m_p \cdot a_x \\ \sum F_y &= m_p \cdot a_y \\ \sum M &= I_p \cdot \theta_p\end{aligned}\quad (5.19)$$

unde:

G – forța de greutate a piciorului [N]

R_{x,y_0} – forțele de reacțiune ale solului asupra piciorului pe cele două direcții, x, y [N]

R_{x,y_1} – forțele de reacțiune din articulația gleznei pe cele două direcții, x, y [N]

F_f – forța de frecare dintre picior și sol [N]

μ – coeficientul de frecare dintre cele două suprafețe [-]

M_t – masa totală a corpului [kg]

M_g – momentul net muscular ce acționează în articulația gleznei [Nm]

θ_p – accelerația unghiulară a piciorului în planul mișcării [rad/s^2]

- I_p – momentul de inerție al piciorului [kgm^2]
- α_1 – unghiul de atac al piciorului față de sol [$^\circ$]
- α_2 – unghiul de înclinare al tibiei față de axa verticală a corpului [$^\circ$]
- d_1 – distanța dintre punctul de acțiune al forțelor de reacțiune ale solului și centrul articulației gleznei [m]
- d_2 – distanța dintre centrul articulației gleznei și sol [m]
- d_3 – distanța dintre centrul de greutate al piciorului și centrul articulației [m]
- d_4 – distanța dintre centrul articulației și punctul cel mai distant al piciorului [m]
- d_5 – lungimea totală a piciorului [m]
- d_6 – distanța pe axa Y dintre centrul de rotație al articulației gleznei și centrul de masă al piciorului [m]
- $a_{x,y}$ – accelerația centrului de masă al piciorului [m/s^2]
- m_p – masa piciorului [kg]

Parametrii menționați variază funcție de faza de sprijin a piciorului pe sol (Fig.5.19).

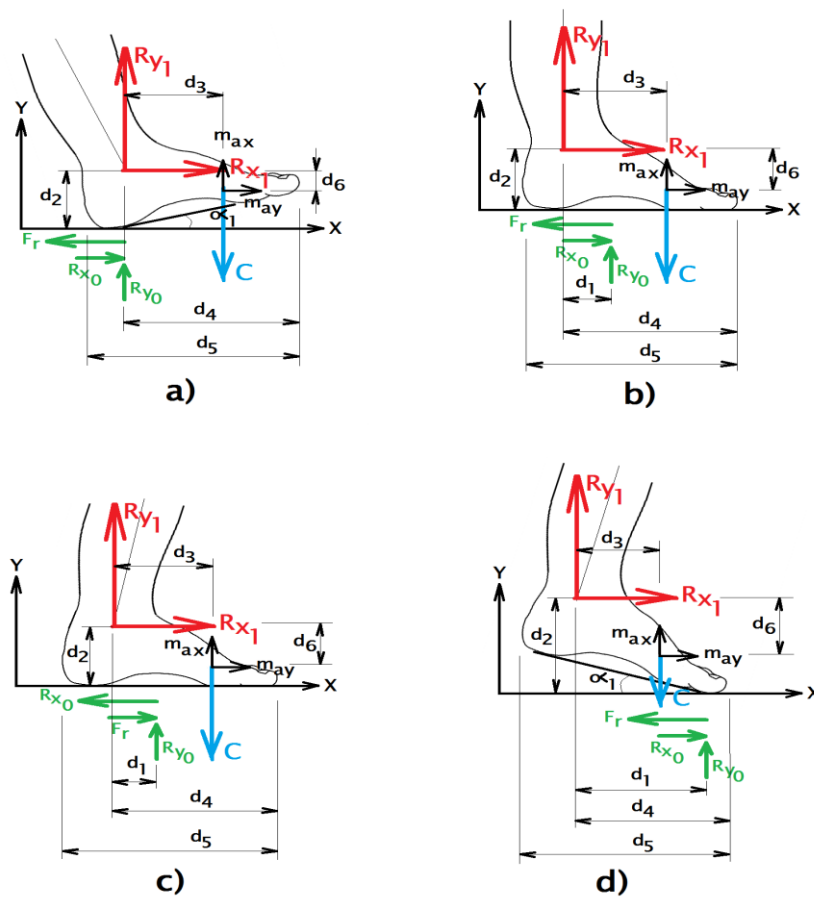


Fig.5.19 - Modelul biomecanic al sistemului gleznă-picior în cele patru faze de sprijin ale piciorului pe sol. [102]

Aplicând ecuațiile de echilibru pentru sistemul biomecanic descris mai sus, se vor obține următoarele:

$$\sum F_{xi} = m_p a_x \rightarrow R_{x0} + R_{x1} - F_f = m_p a_x$$

$$R_{x1} = F_f - R_{x0} + m_p a_x$$

$$\sum F_{yi} = m_p a_y \rightarrow R_{y0} + R_{y1} - G = m_p a_y$$

$$R_{y1} = -R_{y0} + G + m_p a_y$$

$$\sum M = I_p \theta_p \rightarrow M_g + R_{x0} \cdot d_2 - F_f \cdot d_2 - G \cdot d_3 - m a_x \cdot d_6 - m a_y \cdot d_3 = I_p \cdot \theta_p$$

$$M_g = -R_{x0} \cdot d_2 + R_{y0} \cdot \mu \cdot m \cdot d_2 + G \cdot d_3 + m a_y \cdot d_3 + m a_x \cdot d_6 + I_p \cdot \theta_p$$

(5.20)

5.8. Determinarea maselor reduse și a poziției centrului de greutate ale subiectului analizat

Pe baza relațiilor prezentate în capitolele 5.3, 5.6 și 5.7 pentru subiectul analizat având o greutate de 93 [kg] și o înălțime de 178 [cm] s-au determinat masele reduse și coordonatele centrelor de greutate ale acestora și poziția centrului de greutate global. Rezultatele sunt prezentate în figura 5.20 și în tabelele 5.1 și 5.2.

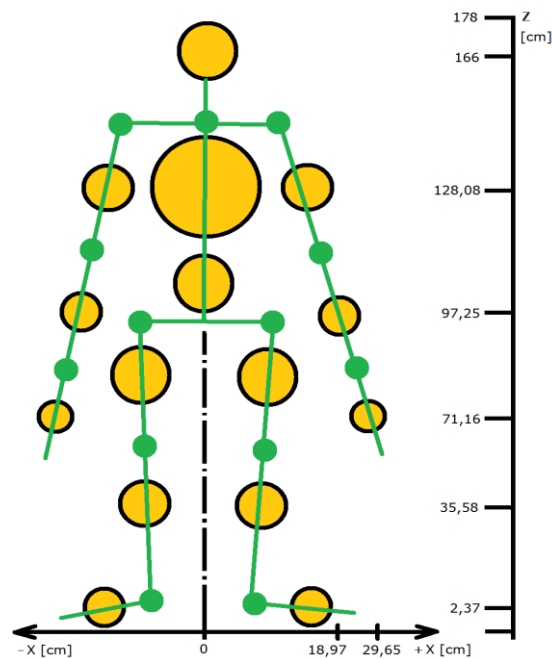


Fig.5.20 – Coordonatele maselor reduse.

Tabelul 5.1 – Mase reduse pe segmente corporale

Segment	Masa[kg]
Craniu + zona cervicală	5,4317
Mâna	0,5298
Antebraț	1,45943
Braț	2,57056
Laba piciorului	1,1865
Gamba	3,92468
Coapsa	13,3955
Trunchi	41,58528
Partea superioară a trunchiului	15,1358
Partea mediană a trunchiului	16,1558
Bazin	10,29368
Total brațe	4,55979
Total picioare	18,50668
Total	93,14992

Tabelul 5.2 – Coordonatele maselor reduse (conform Fig.5.20.)

Segment	Coordonata X a segmentului[cm]	Coordonata Z a segmentului[cm]
Craniu	0	166
Mâna stângă	29,65	71,16
Mâna dreaptă	29,65	71,16
Antebraț stâng	23,72	97,25
Antebraț drept	23,72	97,25
Braț stâng	18,97	128,08
Braț drept	18,97	128,08
Laba piciorului stâng	5,93	2,37
Laba piciorului drept	5,93	2,37
Gamba stângă	7,11	35,58
Gamba dreaptă	7,11	35,58
Coapsa stângă	9,48	74,71
Coapsa dreaptă	9,48	74,71
Trunchi	0	130,46

Coordonatele centrului de greutate:
 $X = 3,60737071101$ [cm]; $Z = 66,552201784$ [cm].

6. Modelarea, simularea și determinarea experimentală a stării de tensiune și deformație a coloanei vertebrale

Necesitatea simulărilor în mediul medical crește cu complexitatea operațiilor și riscul operațiilor. Planificarea preoperatorie și mijloacele de simulare devin indispensabile în prezent datorită complexității operațiilor maxilo-faciale, acuratețea lor fiind aproape milimetrică.

În chirurgia maxilo-facială asocierea musculo-scheletală joacă un rol important în planificarea preoperatorie, schimbarea geometriei structurii mandibulei sau a poziției mușchilor poate cauza dureri sau disfuncții musculare. Chirurgul trebuie să țină cont de un sistem foarte complex, iar simulările l-ar asista în eficientizarea intervențiilor chirurgicale. [6,15,20,24]

Simulările pot ajuta medicul în diagnosticare, permițând vizualizarea internă a anatomiei țesuturilor și a oaselor în dinamica lor, precum și a schimbările cauzate de re poziționări. Astfel, pot fi prognosticate și rezultatele postoperatorii. [121,124]

Biomodelele computerizate pot fi împărțite în biomodele virtuale (utilizate pentru diagnosticul clinic și planificarea tratamentului) și modele numerice (analiza cu element finit), acestea pot indica ariile de distribuție a tensiunilor interne. Biomodelele fizice includ prototipuri rapide, os animal, os uman cadaveric și modele de substituție osoasă.

Progresele recente în simulările funcțiilor musculo-scheletale în complexul cranio-facial folosind *multibody dynamic analysis* și *finite elements analysis* (FEA) permit investigarea virtuală cuprinzătoare a formelor și funcțiilor musculo-scheletale. [64,103]

Metoda elementului finit este o metodă de analiză a stării de tensiune și deformație prin reducerea unei geometrii complexe într-un număr finit de elemente cu geometrii simple. FEM poate fi folosită pentru testarea ipotezelor morfo-funcționale, metoda devenind mult mai accesibilă și populară datorită progreselor în puterea de procesare a computerelor. [89,90,94]

Metodele tradiționale biomecanice de înțelegere a modului în care se comportă structurile anatomice sub diferite sarcini includ abordări teoretice care generează diagrame și tehnici care furnizează informații despre forțe și momente aplicate structurii.

FEM a fost prima oară dezvoltată ca o tehnică matematică (Courant 1943), dar nu s-a răspândit pe scară largă până la apariția computerelor. Fără computere, această metodă era impracticabilă și a fost ignorată până când inginerii, în special cei din industria aerospațială, au dezvoltat-o (Levy 1953). Utilizarea FEM a cunoscut ulterior o dezvoltare considerabilă în domeniul ingineriei și biomecanicii, apoi în științele vieții (life sciences).

Înainte de a apela la FEM, cercetătorii sunt confrunțați cu numeroase decizii privind modalitatea cea mai bună de a folosi această metodă. [68-71]

FEM poate fi considerată metodologia prin care analiza este convertită într-un set de ecuații algebrice simultane. FE constă în procesul de creare a modelului, soluționarea modelului, validarea și interpretarea rezultatelor în contextul potrivit.

În contextul morfologiei funcționale, crearea modelului este faza cea mai dificilă. Implică colectarea, integrarea datelor, formularea ipotezelor sau supozițiilor

privind geometria modelului, definirea rețelei, proprietățile materialului, aplicarea sarcinilor și condițiile limită.

Faza de soluții constă în calcularea tensiunilor și deformațiilor care rezultă din datele și ipotezele din model. Ultima fază, numită și postprocesare, implică interpretarea rezultatelor.

Pentru problemele biologice, validarea este o parte foarte importantă a acestei ultime faze, pentru că orice interpretare a rezultatelor din model depinde de gradul în care modelul reflectă realitatea biologică.

6.1. Obiectivele urmărite

Pentru a putea determina variația nivelului afecțiunilor musculo-scheletale la nivelul coloanei vertebrale ca efect al traumatismelor maxilo-faciale (pre și post operator) este necesară o analiză a stării de tensiune și deformație a coloanei vertebrale prin modelare, simulare.

6.2. Crearea modelului – Geometria

Primul pas în crearea unui model este alegerea dimensiunii 1D, 2D sau 3D. Sunt disponibile o multitudine de tehnici, inclusiv tehnici automate și manuale. O abordare automată implică transformarea scanerelor laser ale oaselor sau altor structuri în modele wireframe, care apoi sunt convertite în modele de element finit. Scanerul laser pot oferi o reprezentare high-resolution a suprafeței exterioare, dar puține informații despre geometria internă. O asemenea reprezentare 3D a corpului uman a fost achiziționată (fig.6.1 și 6.2). Modelul corespunde dimensiunilor antropometrice 95% ale unui adult de sex masculin, categorie în care se încadrează și pacientul analizat.

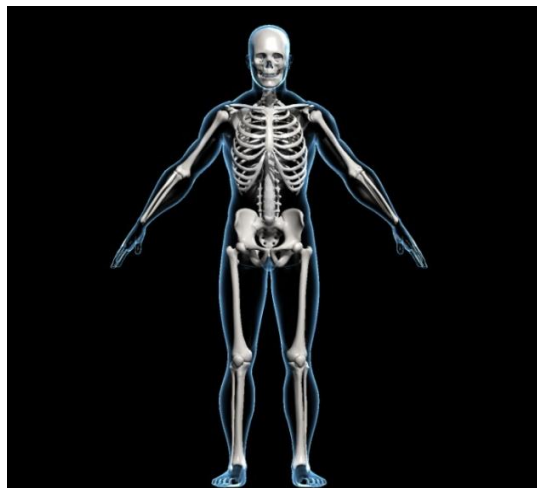


Fig.6.1 - Vedere frontală a corpului uman. [138]



Fig.6.2 – Discuri intervertebrale, ligamente. [138]

Acest model, pe lângă totalitatea oaselor organismului uman are modelate și integrate în sistemul respectiv, discurile intervertebrale, ligamentele coloanei vertebrale și o siluetă umană. [138] Acesta urmează să fie exportat din software-ul „3Ds Max” în formatul necesar pentru efectuarea analizei cu element finit (FEM) în software-ul „ANSYS”.

Zona de interes în determinarea influenței operațiilor maxilo-faciale asupra posturii o reprezintă în primul rând coloana vertebrală. De aceea aceasta s-a izolat în vederea analizei cu FEM (Fig.6.3).



Fig.6.3 – Modelul 3D al coloanei vertebrale.

După importarea ansamblului real au fost introduse caracteristicile mecanice ale vertebrelor și discurilor intervertebrale (tabelul 6.1).

Tabelul 6.1 – Caracteristicile mecanice ale vertebrei și ale discului intervertebral

caracteristici componente	E [MPa]	ν [-]	ρ [kg/m ³]
Vertebră	22000	0,3	2000
Disc intervertebral	1	0,49	1250

E – modul de elasticitate longitudinală; ν – coeficientul lui Poisson; ρ – densitate.

Pentru realizarea studiului propus – Urmărirea calitativă a alurii caracteristicilor de tensiune și deformație de-a lungul coloanei vertebrale – s-a utilizat un model simplificator care conține toate elementele de geometrie ale modelului 3D al coloanei vertebrale izolată anterior, realizată prin scanare optică.

Punctele corespunzătoare vertebrelor se preiau în tabele de tip Excel, coordonatele fiind de tip x,y,z. Aceste puncte se importă în proEngineer și se generează forma coloanei, ca în figura 6.4.

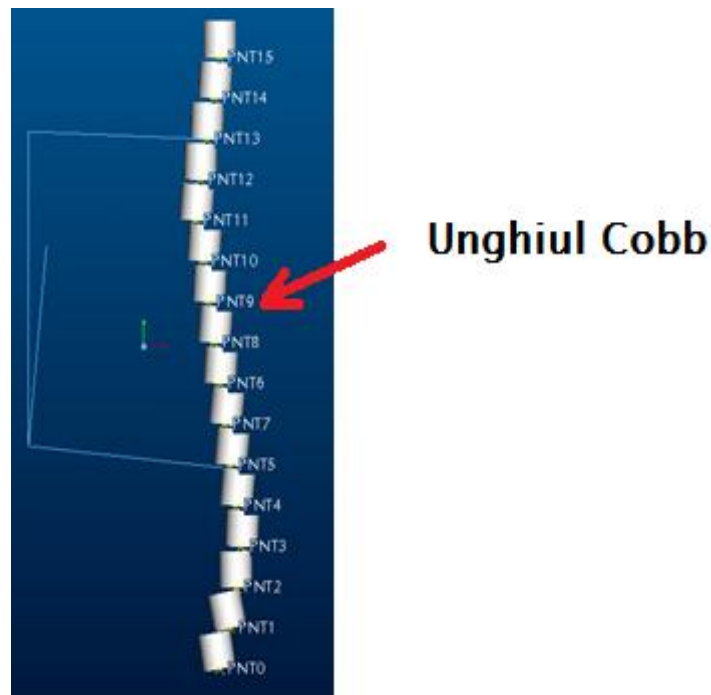


Fig.6.4 – Măsurarea unghiului Cobb.

Pe baza acestor puncte și a unghiurilor de înclinare ale vertebrelor (Fig.6.4) se reconstruiește coloana vertebrală, vertebrele fiind approximate cu cilindri. Dimensiunile cilindrilor pot fi corelate cu dimensiunile reale ale coloanei vertebrale din modelul achiziționat.

De asemenea, programul permite parametrizarea acestor dimensiuni, astfel încât să se poată obține o coloană vertebrală cât mai apropiată de cea a modelului.

Valorile pentru unghiul Cobb se pot obține cu ușurință conform figurii 6.4 pentru oricare două vertebre. Se stabilește de la început un număr de vertebre pentru care se dorește măsurarea unghiului și se face construcția din figura 6.5.

Avantajul prelucrării în proE este acela că, la orice modificare a coloanei, construcțiile se actualizează, astfel încât nu este nevoie ca de fiecare dată să facem construcții auxiliare.

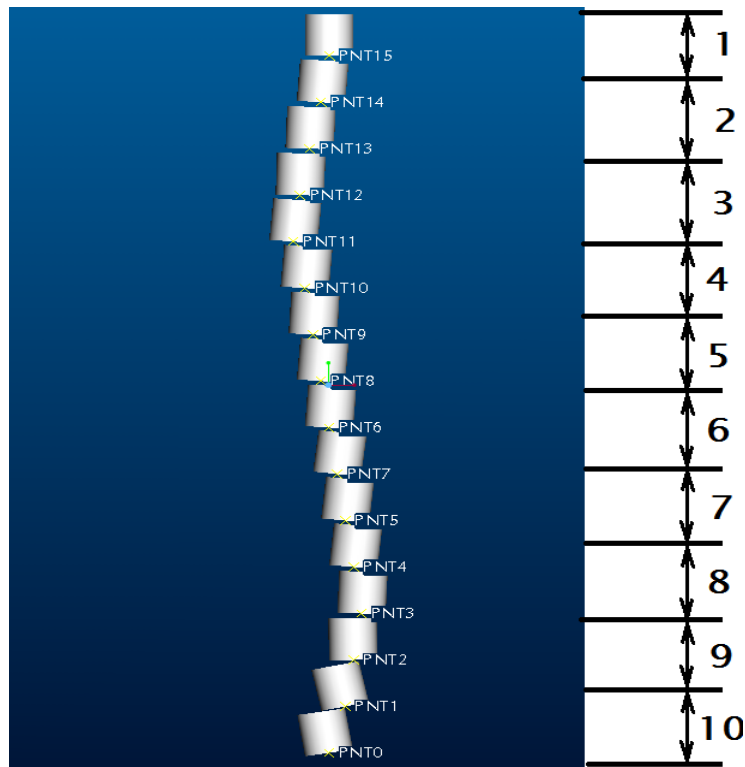


Fig.6.5 – Punctele importante și reconstrucția din cilindrii în proE.

Alături de punctele de pe coloana vertebrală se preiau și coordonatele punctelor de referință aflate pe bazin și pe umerii modelului uman. Raportarea la aceste puncte crește gradul de exactitate al determinărilor.

În cazul scanării optice, coordonatele punctelor de precizie se obțin de pe imaginea reprodusă prin soft.

Pasul următor a fost discretizarea pieselor în softul *ANSYS Workbench*.

Încărcarea s-a făcut aplicând pe suprafața superioară a primei vertebre cervicale presiunea corespunzătoare forței rezultate din produsul accelerației gravitaționale și masa trunchiului (tabelul 5.1).

Prin corelarea informațiilor din capitolul 3 privind poziția centrului de greutate înainte și după operație (Fig.3.9 și Fig.3.11), a celor din capitolul 5 centralizate în tabelele 5.1 și 5.2 referitoare la distribuția maselor, s-au determinat încărcările cu forțe și momente pe celelalte zone ale coloanei.

6.3. Rezultatele analizei FEM utilizând softul ANSYS

Prin Analiza FEM s-au determinat:

- starea de tensiune (σ_e) de-a lungul coloanei vertebrale înainte de operație (Fig.6.6) și după operație (Fig.6.7);

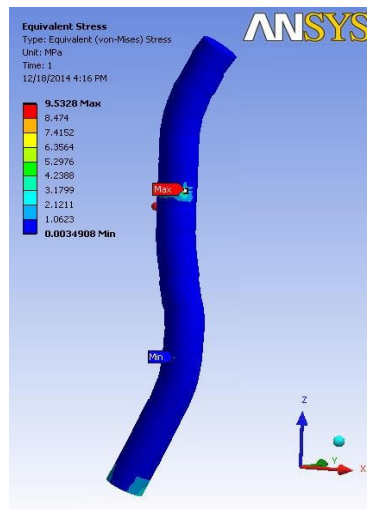


Fig.6.6

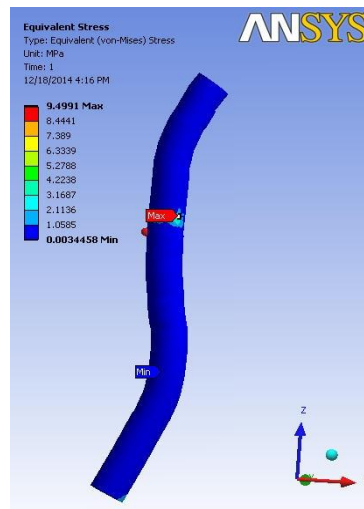


Fig.6.7

- deformația totală (δ) de-a lungul coloanei vertebrale înainte de operație (Fig.6.8) și după operație (Fig.6.9);

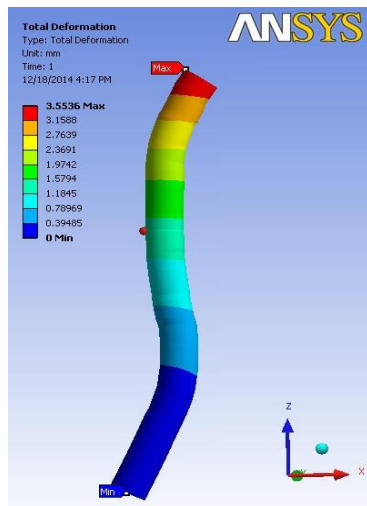


Fig.6.8

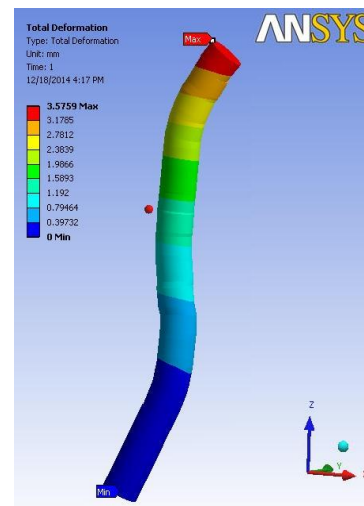


Fig.6.9

- deformația elastică echivalentă relativă (ϵ) de-a lungul coloanei vertebrale înainte de operație (Fig.6.10) și după operație (Fig.6.11).

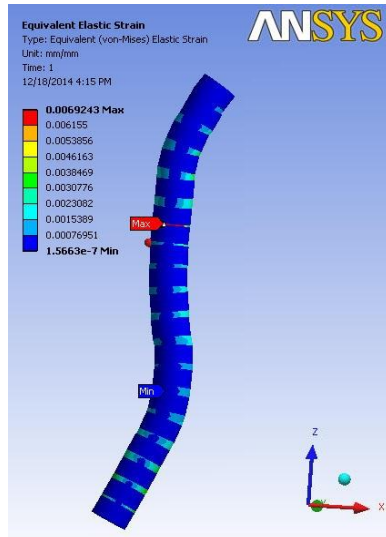


Fig.6.10

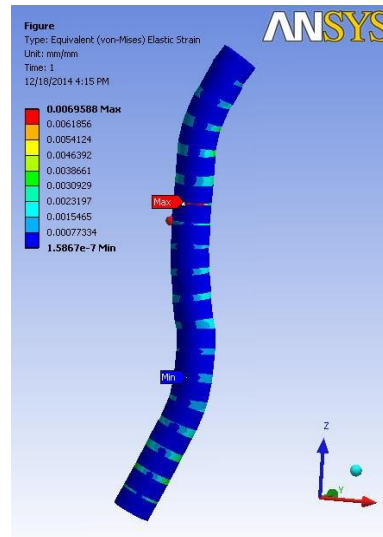


Fig.6.11

În figurile 6.12, 6.13 și 6.14 sunt prezentate rezultatele postprocesărilor valorilor obținute prin analiza cu FEM.

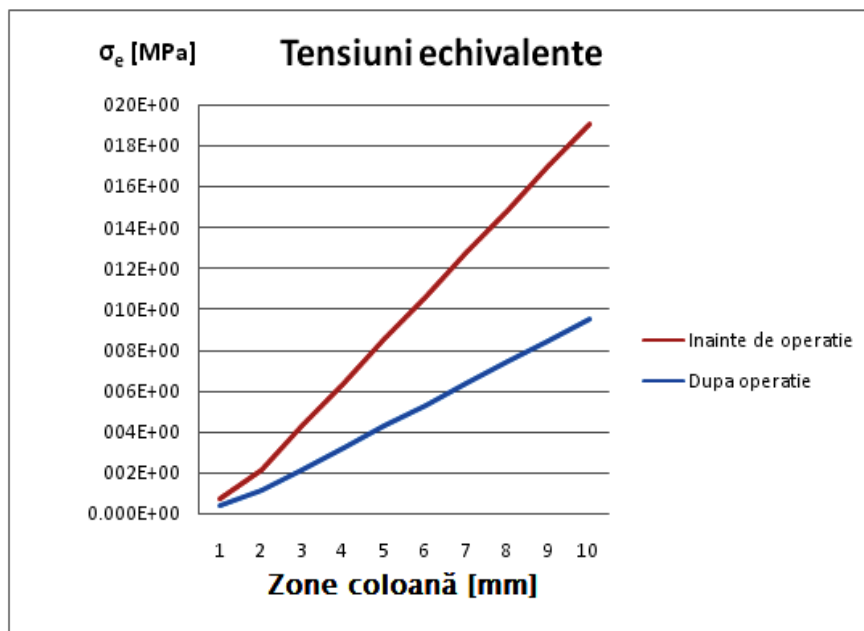


Fig.6.12 – Tensiuni echivalente.

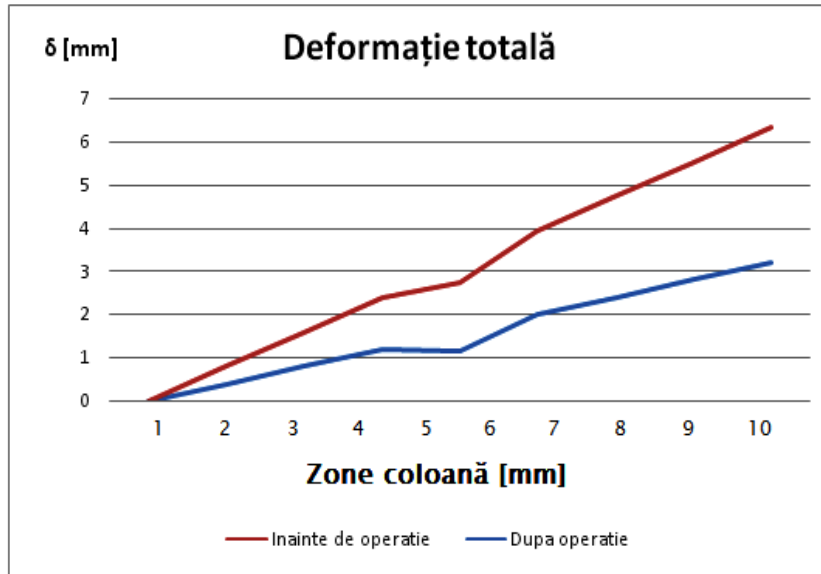


Fig.6.13 – Deformație totală.

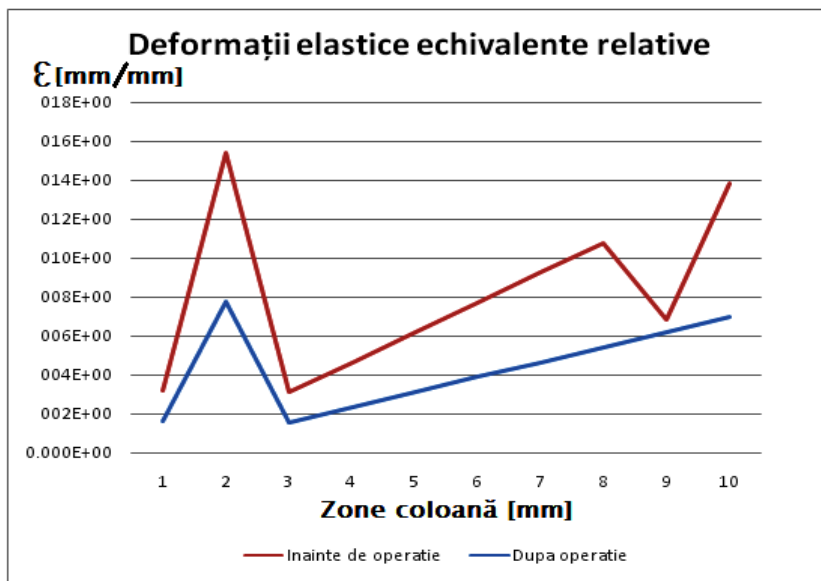


Fig.6.14 – Deformații elastice echivalente relative.

Din toate cele trei reprezentări se observă reducerea stării de tensiune și deformație a coloanei vertebrale după recuperarea completă a pacientului în corelație cu rezultatele experimentale (vezi cap.3 și cap.4) ca urmare a echilibrării posturii acestuia. Figura 6.14 relevă faptul că s-au atenuat stările de deformație în zonele cele mai solicitate ale coloanei – lombară și cervicală – în urma recuperării complete a pacientului după un an de la operație (9 și 2).

7. Concluzii finale. Contribuții personale. Direcții viitoare de cercetare

7.1. Concluzii finale

Studiul inițial asupra stadiului actual al cercetărilor cu privire la „Evaluarea bioposturală a unor parametri biomecanici și aplicații clinice în chirurgia orală și maxilo-facială” a reliefat tendințele actuale de cercetare, necesitatea, avantajele și anumite limitări care intervin în recuperarea pacienților cu diferite traumatisme ale sistemului stomatognat.

Pornind de la acest studiu bibliografic, lucrarea de față și-a propus ca obiectiv central contribuția la „resetarea posturală” prin tratamente aplicate pacienților care prezintă traumatisme la nivelul sistemului stomatognat și confirmarea realizării acesteia.

Teza este rezultatul unei colaborări dintre Universitatea POLITEHNICA Timișoara (UPT) și Universitatea de Medicină și Farmacie „Victor Babeș” din Timișoara (UMFVBT) din care face parte autoarea.

S-a constatat că în prezent nu există studii pentru a analiza cauzele primare care provoacă dureri și sindroame dureroase cranio-faciale atipice. Studiile medicale s-au efectuat pe cazuri clinice din cadrul Clinicii de Chirurgie Orală și Maxilo-Facială din Timișoara utilizând infrastructura modernă, neinvazivă a Laboratorului de Ergoinginerie din Departamentul de Mecatronică al UPT.

Pentru cazul reprezentativ analizat, rezultatele investigațiilor și analizei cu platforma DIASU SYSTEM preluate în trei stadii (înainte de operație – după operație – recuperare completă) au evidențiat o distribuție a presiunii plantare mult mai uniformă, un radar de balans mai echilibrat și o distribuție dinamică a presiunilor plantare mult ameliorat la stadiul de recuperare completă ceea ce denotă o resetare posturală.

Pe baza expresiei analitice pot fi arătate încărcările mandibulei în toate secțiunile. În urma aplicării calculului analitic se pot trage următoarele concluzii:

- forțele de-a lungul ramului orizontal mandibular sunt distribuite neuniform față de linia mediană;
- există o asimetrie explicită a momentelor forțelor atât în ceea ce privește mărimea lor cât și distribuția acestora pe ramul stâng și respectiv drept.

Pentru înțelegerea fenomenelor care se produc în sistemul stomatognat, cercetătorii au utilizat metode diferite de studii.

Metodele utilizate (fotoelasticimetrie, interferometria holografică, analiza matematică, etc) nu se exclud, ci se completează reciproc aducând un plus de cunoaștere. În cadrul tezei s-a efectuat o cercetare termografică care evidențiază experimental aspectele menționate.

Prelucrările rezultatelor analizelor termografice arată că există o distribuție neuniformă a temperaturilor în cele trei stadii I, II și III, cât și la nivelul ramului drept față de cel stâng. S-a constatat că neuniformitatea distribuției temperaturii este mai pronunțată în stadiul II, la o lună postoperator, în plin proces de vindecare osoasă.

În stadiul II, față de I și III cumularea efectelor traumatismului inițial cu traumatismul operator și procesul de vindecare, respectiv de producere a substanței

osoase, se reflectă prin cea mai neuniformă curbă de distribuție a temperaturii de-a lungul corpului mandibular, cât și la nivelul ramului drept față de cel stâng.

În ceea ce privește repartiția încărcărilor (forțe, momente) datorate traumatismelor, se observă prin variații pozitive ale temperaturilor, zonele cu contractură musculară accentuată.

În toate cele trei etape se manifestă o distribuție neuniformă și o asimetrie a temperaturii, respectiv a încărcărilor de-a lungul corpului mandibular, cât și pe ramul drept față de cel stâng. Aceasta concordă cu dezvoltarea și concluziile studiului analitic matematic prezentat în subcapitolul 4.3, respectiv cu datele din literatura de specialitate. Se observă totuși că neuniformitatea distribuției (temperaturii, încărcărilor) este mai pronunțată în stadiul II, la o lună postoperator.

Prin analiza cu element finit se observă reducerea stării de tensiune și deformație a coloanei vertebrale după recuperarea completă a pacientului în corelație cu rezultatele experimentale ca urmare a echilibrării posturii.

7.2. Contribuții personale

În conformitate cu obiectivele propuse, a cercetărilor efectuate și a rezultatelor obținute pe parcursul tezei de doctorat, autoarea a adus următoarele contribuții personale la „Evaluarea bioposturală a unor parametri biomecanici și aplicații clinice în chirurgia orală și maxilo-facială”:

- prezentarea unei sinteze bibliografice ce tratează stadiul actual al cercetărilor cu privire la „Evaluarea bioposturală a unor parametri biomecanici și aplicații clinice în chirurgia orală și maxilo-facială” pe baza căreia s-au identificat principalele direcții de cercetare în domeniu, aplicațiile diverse, limitările existente și tendințele viitoare de cercetare;
- asocierea studiului postural cu tratamentul și recuperarea sistemului stomatognat;
- utilizarea echilibrului postural în corelație cu recuperarea postoperatorie a sistemului stomatognat ca propunere de metodă pentru monitorizarea postoperatorie a cazurilor cu traumatisme în vederea prevenirii sechelelor;
- utilizarea în premieră națională a echipamentelor moderne și neinvazive în investigarea pacienților cu traumatisme maxilo-faciale: platforma baropodometrică DIASU SYSTEM și termograful FLIR aflate în dotarea UPT;
- abordarea complexă a temei propuse prin evaluări experimentale, analitice, modelare și simulare pentru certificarea rezultatelor;
- analiza modelării biomecanice în studiul posturografic și al sistemului stomatognat;
- compararea rezultatelor termografice cu abordarea analitică din literatura de specialitate și reliefaarea concordanței concluziilor;
- determinarea maselor reduse ale pacientului și a coordonatelor acestuia prin abordarea analitică în vederea analizei cu element finit;
- determinarea poziției centrului de greutate al pacientului prin metode analitice și experimentale în cele trei faze menționate în vederea analizei cu element finit;
- achiziționarea unui model real 3D al corpului uman, identificarea și selectarea zonei de interes privind evidențierea/validarea „resetării posturale” precum și utilizarea unui model 3D simplificat al coloanei

- vertebrale în vederea analizei cu element finit;
- determinarea stării de tensiune și a deformațiilor coloanei vertebrale a pacientului înainte de operație și după recuperarea completă;
- evidențierea ameliorărilor posturale la recuperarea completă a pacientului prin postprocesarea rezultatelor obținute cu ajutorul FEM;
- demonstrarea prin metoda termografică, analiza modificărilor posturale cu platforma baropodometrică și analiza cu element finit a datelor din literatura de specialitate care precizează empiric legătura între traumatism și modificarea posturală.

7.3. Direcții viitoare de cercetare

Realizarea cercetărilor teoretice și experimentale dezvoltate în prezenta teză de doctorat constituie un punct de plecare în studiul „Evaluarea bioposturală a unor parametri biomecanici și aplicațiile clinice în chirurgia orală și maxilo-facială”, tema abordată fiind de pionierat.

Se conturează următoarele direcții de cercetare viitoare:

- extinderea acestor metode de cercetare precum și a utilizării echipamentelor neinvazive la studiul recuperării și a altor tipuri de operații, respectiv traumatisme;
- extinderea utilizării metodei în realizarea ortezelor, protezelor și implantelor de toate tipurile, adresate și altor specialități medicale (dentare, ortopedice, etc);
- realizarea unui studiu statistic de amploare în vederea obținerii unor baze de date în vederea completării protocoalelor operatorii pe baza metodei prezentate în teză;
- studii privind influența adaptării de corecții plantare în ameliorarea atât a echilibrării posturii cât și a unor afecțiuni din zona sistemului stomatognat.

Bibliografie

1. Agid Y. From posture to initiation of movement. *Rev Neurol (Paris)*. 1990; 146(10):536-42.
2. Al-Faraje L. Surgical and radiologic anatomy for oral implantology. 2013 Quintessence Publishing. 2013.
3. Amarandei M. *Contribuții privind implementarea investiției termografice în cercetarea din domeniul tehnic și medical*. Teză de doctorat. Universitatea Politehnica Timișoara. 2013.
4. Argeșanu V. (2004). Ergonomia echipamentelor și departamentelor medicale, Editura Eurostampa, Timișoara.
5. Argeșanu V., Anghel M., Jula M., Comes C., Kulcsar R. M. Metode actuale de investigare a statusului postural în medicina dentară. Milenium III Medicine, The International Congress of Medical Days in Banat 15th edition, Timișoara, vol.60, nr. 1/2010.
6. Argeșanu, V., R. M. Kulcsar, and I. A. Farkas. Calculation by finite element method (FEM) of temperature distribution in the components of a mechanical face seal. *Journal of the Balkan Tribological Association* 17.1 (2014).
7. Armijo Olivo S, Magee DJ, Parfitt M, Major P, Thie NM. The association between the cervical spine, the stomatognathic system, and craniofacial pain: a critical review. *J Orofac Pain*. 2006;20:271-87.
8. Ayub E, Glasheen-Wray M, Krauss S. Head posture: a case report of the effects on the rest position of the mandible. *J Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 1984;5:179-60.
9. Baldini, A., Beraldi, A., Nota, A., Danelon, F., Ballanti, F., & Longoni, S. (2012). Gnathological postural treatment in a professional basketball player: a case report and an overview of the role of dental occlusion on performance. *Annali di stomatologia*, 3(2), 51.
10. Baldini, A., Nota, A., Tripodi, D., Longoni, S., & Cozza, P. (2013). Evaluation of the correlation between dental occlusion and posture using a force platform. *Clinics*, 68(1), 45-49.
11. Barberini, C. L., & Macpherson, J. M. (1998). Effect of head position on postural orientation and equilibrium. *Experimental brain research*, 122(2), 175-184.
12. Barbosa, L., Clemente, M., Silva, A., Gabriel, J., & Pinho, J. (2012). Evaluation of the masticatory muscles temperature by thermal imaging during mastication. *Thermology International*, 22(3), 125.
13. Barela, J. A., Whitall, J., Black, P., & Clark, J. E. (2000). An examination of constraints affecting the intralimb coordination of hemiparetic gait. *Human Movement Science*, 19(2), 251-273.
14. Bellizzi, M., Rizzo, G., Bellizzi, G., Ranieri, M., Fanelli, M., Megna, G., & Procoli, U. (2011). Electronic baropodometry in patients affected by ocular torticollis. *Strabismus*, 19(1), 21-25.
15. Berdich K-N. *Cercetări privind modelarea numerică a patologiilor de natură mecanică ale membranei timpanice*. Teză de doctorat. Universitatea Politehnica Timișoara. 2013.

16. Bolmont B, Gangloff P, Vouriot A, Perrin Ph. Mood states and anxiety influence abilities to maintain balance control in healthy human subjects. *Neurosci Lett.* 2002;329:96-100.
17. Bracco, P., Deregibus, A., & Piscetta, R. (2004). Effects of different jaw relations on postural stability in human subjects. *Neuroscience letters*, 356(3), 228-230.
18. Bracco P, Deregibus A, Piscetta R. Effects of different jaw relations on postural stability in human subjects, *Neurosci Lett.* 2004;356:228-30.
19. Bratu D, Mărcăuțeanu C, Topală F, Demjan E T, Jivănescu A. Noțiuni de ocluzologie. Lito UMF „Victor Babeș” Timișoara 2008, pag. 69-76.
20. Bro-Nielsen, M. (1998). Finite element modeling in surgery simulation. *Proceedings of the IEEE*, 86(3), 490-503.
21. Bucur, A., Navarro, C., Lowry, J., & Acero, J. (2009). Compendiu de chirurgie oro-maxilo-facială vol I. *Q Med Publishing*, 347-384.
22. Budescu E., Dănilă C. Biomecanică. Îndrumar de lucrări aplicative. Universitatea Tehnică "Gh. Asachi" Iași 2012.
23. Busse, G. (2001). Infrared and thermal testing: technique of infrared thermography. *Nondestructive Testing Handbook Series*, 3, 318-328.
24. Chalk, J., Richmond, B. G., Ross, C. F., Strait, D. S., Wright, B. W., Spencer, M. A., ... & Dechow, P. C. (2011). A finite element analysis of masticatory stress hypotheses. *American journal of physical anthropology*, 145(1), 1-10.
25. Champy M, Terry B, Haerle F. Atlas of CraniomaxillofacialOsteosymthesis. 2nd edition. Thieme Publishing Group 2011.
26. Ciupitu L, Ivanescu AN, Chivescu S, Brotac S. Vision system for human body infrared thermography. Annals of daaam for 2009&proceedings of the 20th international daaam symposium. 2009;20: 1545-1546.
27. Clauzade, Michel. "Orthoposturodentie." *INFORMATION DENTAIRE* (2000): 2103-2106.
28. Cunarro M., S., C. Biomechanics of the Human mandible including the TMJ. PhD thesis. University of Seville, Spain, 2012.
29. Constantinescu MV, Bogdan AT, Constantinescu FE, Defta CL. Bio-postural medicine a new paradigm in holistic approach of human and comparative medicine. The 2nd National Congres with International Participation of Integrative Medicines București 2-5.11.2011.
30. Costen, J. B. (1934). A syndrome of ear and sinus symptoms dependent upon disturbed function of the temporomandibular joint. *Ann. Otol. Rhin. & Laryng.*, 43, 1-15.
31. Crăciun, A. M., Antohe, M. E., & Forna, N. C. Biomechanical behaviour of oro-maxillofacial prostheses (mathematical modeling in oro-maxillofacial sphere). *Proc. Rom. Acad., Series B*, 2010, 1, p. 65-69.
32. Cuccia, A. M. (2011). Interrelationships between dental occlusion and plantar arch. *Journal of bodywork and movement therapies*, 15(2), 242-250.
33. Cuccia, A., & Caradonna, C. (2009). The relationship between the stomatognathic system and body posture. *Clinics*, 64(1), 61-66.
34. Cuccia, A. M. (2011). Interrelationships between dental occlusion and plantar arch. *Journal of bodywork and movement therapies*, 15(2), 242-250.
35. Cuccia, A. M., & Carola, C. (2009). The measurement of craniocervical posture: A simple method to evaluate head position. *International journal of pediatric otorhinolaryngology*, 73(12), 1732-1736.

36. Da Cunha, H. M., and O. A. Da Silva. "Postural deficiency syndrome. Its importance in ophthalmology." *Journal francais d'ophtalmologie* 9.11 (1985): 747-755.
37. Dascălu L. M. Modelarea și identificarea mersului uman pentru aplicații de Realitate Virtuală. Teză de doctorat. Universitatea Transilvania Brașov 2011.
38. Drăgulescu D. Studiarea dinamicii mandibulei și modelarea de implantate pentru corectarea prin intervenții chirurgicale a ruperii sale accidentale. Raport de cercetare. UPT 2006.
39. Ferrario VF, Sforza C, Schmitz JH, Taroni A. Occlusion and centre of foot pressure variation: is there a relationship? *J Prosthet Dent.* 1996;76:302-8.
40. Friedman MH, Wusberg I. Screening procedures for temporomandibular joint dysfunction. *Am Fam Phys* 1982;25:157-60.
41. Fujimoto M, Hayakawa I, Hirano S, Watanabe I. Changes in gait stability induced by alteration of mandibular position. *J Med Dent Sci.* 2001,48:131.
42. Gangloff P, Louis JP, Perrin PP. Dental occlusion modifies gaze and posture stabilization in human subjects, *Neurosci Lett.* 2000;293:203-6.
43. Gangloff P, Perrin PP. Unilateral anaesthesia modifies postural control in human subjects. *Neurosci Lett* 2002;330:179-82.
44. Gauchard, G. C., Gangloff, P., Jeandel, C., & Perrin, P. P. (2003). Influence of regular proprioceptive and bioenergetic physical activities on balance control in elderly women. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 58(9), M846-M850.
45. Goția Rodica Smaranda et al. Cap. 5.2 Aparatul vestibular pp 78-81. cap. 7. Controlul motilității voluntare și al posturii pp 90-107. *Fiziologia sistemului nervos și a organelor de simț.* Lito UMFT "Victor Babeș" Timișoara 2002.
46. Gresham H, Smithells PA. Cervical and mandibular posture. *Dental Rec.* 1954;74:261-4.
47. Hannam, A. G., Stavness, I., Lloyd, J. E., & Fels, S. (2008). A dynamic model of jaw and hyoid biomechanics during chewing. *Journal of Biomechanics*, 41(5), 1069-1076.
48. Herețiu D, Miută C. Elemente de biomecanică ale aparatului locomotor. Ed. Univ. „Aurel Vlaicu” Arad 2007.
49. Herring, S. W. (2007). Masticatory muscles and the skull: a comparative perspective. *Archives of oral biology*, 52(4), 296-299.
50. Herry, C. L., & Frize, M. (2004). Quantitative assessment of pain-related thermal dysfunction through clinical digital infrared thermal imaging. *BioMedical Engineering OnLine*, 3(1), 19.
51. Horak, F. B., Earhart, G. M., & Dietz, V. (2001). Postural responses to combinations of head and body displacements: vestibular-somatosensory interactions. *Experimental brain research*, 141(3), 410-414.
52. Huggare JA, Raustia AM. Head posture and cervicovertebral and craniofacial morphology in patients with craniomandibular dysfunction. *Cranio.* 1992;10:173-8.
53. Ianes, E.; **Streian, F.**; Talpos, S.; et al. *Management of bisphosphonate related jaw osteonecrosis: a review of 19 cases.* Conference: 20th Congress of the European-Association-of-Cranio-Maxillo-Facial-Surgery (EACMFS) Bruges, BELGIUM Date: SEP 14-17, 2010.
54. Ianes, E.; **Streian, F.**; Nicoara, A.; et al. *Life-threatening odontogenic infections - a retrospective study.* Conference: 20th Congress of the

- European-Association-of-Cranio-Maxillo-Facial-Surgery (EACMFS) Bruges, BELGIUM Date: SEP 14-17, 2010.
55. Ianes, E., **Streian, F.**, & Vasile, L. (2008). P. 034 Diagnosis of intraosseous jaw lesions by aspirative cytology. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 36(1), 1.
 56. Ianes, E., **Streian, F.**, Vasile, L., & Talpos, S. (2008). O. 109 Clinical and cytological analysis in jaw osteoclastoma. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 36(1), 2.
 57. Ianeş, E., **Streian, F.**, & Rosu, S. (2008). O. 555 Alveolar ridge augmentation using autologous iliac bone graft. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 36, S139.
 58. Ianeş E, **F. Streian**, D. Chioran, Ş. Roşu, Ş. Talpoş. *Clinical and pathologic correlations in jaw tumors. Medicine in Evolution*, nr.2, p. 9-13, Timișoara 2008.
 59. Ianeş E, Butariu S, **Streian F**, Lăcătușu A, Nicoară A. European Cells and Materials. *Tooth extraction in patients with haemophilia*. Vol. 16, Nr. 5, 2008,p.4.
<http://www.ecmjournals.org/journal/supplements/vol016supp05/vol016supp05.htm>
 60. Igić, A., Pavlović, R., Steas, A., & Igić, S. (2001). Biomechanical analysis of forces and moments generated in the mandible. *Facta Universitatis", Series Medicine and Biology*, 8.
 61. Iwasaki, T., Saitoh, I., Takemoto, Y., Inada, E., Kakuno, E., Kanomi, R., ... & Yamasaki, Y. (2013). Tongue posture improvement and pharyngeal airway enlargement as secondary effects of rapid maxillary expansion: a cone-beam computed tomography study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 143(2), 235-245.
 62. Jones BF. A reappraisal of the use of infrared thermal image analysis in medicine. *IEEE Trans Med Imaging*. 1998;17(6):1019-27.
 63. Koolstra, J. H. (2002). Dynamics of the human masticatory system. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*, 13(4), 366-376.
 64. Koolstra, J. H., & Van Eijden, T. M. G. J. (2005). Combined finite-element and rigid-body analysis of human jaw joint dynamics. *Journal of biomechanics*, 38(12), 2431-2439.
 65. Koolstra, J. H., & Van Eijden, T. M. G. J. (2001). A method to predict muscle control in the kinematically and mechanically indeterminate human masticatory system. *Journal of Biomechanics*, 34(9), 1179-1188.
 66. Koolstra, J. H. (2002). Dynamics of the human masticatory system. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*, 13(4), 366-376.
 67. Kritsineli M, Shim YS. Malocclusion, body posture, and temporomandibular disorder in children with primary and mixed dentition. *J Clin Pediatr Dent*. 1992;16:86-93.
 68. Kulcsar, R. M., Borozan, I. S., Argesanu, V., **Maniu, L.**, &**Streian, F.** (2014, September). Experimental determination of the intervertebral stress. In *Intelligent Systems and Informatics (SISY), 2014 IEEE 12th International Symposium on* (pp. 303-307). IEEE.
 69. Kulcsar, R. M. *Cercetări ergonomice asupra comportării coloanei vertebrale a conducătorului auto*. Teză de doctorat. Universitatea Politehnica Timișoara. 2013.

70. Kulcsar, R. M., Argesanu, V., Borozan, I. S., & Maniu, I. (2011, May). The human body behavior under vehicle vibrations. In *Proceedings of the 13th WSEAS international conference on Automatic control, modelling & simulation* (pp. 368-373). World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS).
71. Kulcsar, R. M., Borozan, I. S., Argesanu, V., **Maniu, I.**, & **Streian, F.** Modeling, Simulation And Experimental Determination Of The Spine Muscle's Activities Of The Driver. ROBOTICS 2014 - VIth International Conference on Robotics Sections - Thursday, 23th October, 15 – 19, Bucuresti.
72. Lai J C K, M P Schoen, A Perez Gracia, D S Naidu, and S W Leung. Prosthetic devices: Challenges and implications of robotic implants and biological interfaces *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine* February 1, 2007 221: 173-183.
73. La Touche, R., París-Aleman, A., von Piekartz, H., Mannheimer, J. S., Fernández-Carnero, J., & Rocabado, M. (2011). The influence of cranio-cervical posture on maximal mouth opening and pressure pain threshold in patients with myofascial temporomandibular pain disorders. *The Clinical journal of pain, 27*(1), 48-55.
74. Laufer, Y., Barak, Y., & Chemel, I. (2006). Age-related differences in the effect of a perceived threat to stability on postural control. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences, 61*(5), 500-504.
75. Lee WY, Okeson JP, Lindroth J. The relationship between forward head posture and temporomandibular disorders. *J Orofac. Pain* 1995;9:161-7.
76. Lippold C, Danesh G, Schilgen M, Derup B Hackenberg L. Relationship between thoracic, lordotic, and pelvic inclination and craniofacial morphology in adults. *Angle Orthod.* 2006;76:779-85.
77. Lloyd, J. E., Stavness, I., & Fels, S. (2012). ArtiSynth: A fast interactive biomechanical modeling toolkit combining multibody and finite element simulation. In *Soft tissue biomechanical modeling for computer assisted surgery* (pp. 355-394). Springer Berlin Heidelberg.
78. Maki, B. E., & McIlroy, W. E. (2007). Cognitive demands and cortical control of human balance-recovery reactions. *Journal of neural transmission, 114*(10), 1279-1296.
79. Malkoc, Siddik, et al. "Reproducibility of airway dimensions and tongue and hyoid positions on lateral cephalograms." *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics* 128.4 (2005): 513-516.
80. Manfredini, D., Castroflorio, T., Perinetti, G., & GUARDA-NARDINI, L. (2012). Dental occlusion, body posture and temporomandibular disorders: where we are now and where we are heading for. *Journal of oral rehabilitation, 39*(6), 463-471.
81. Massara G., Pacini T., Vella G. *Ergonomia del Sistema Posturale*. Marrapese Editore Roma 2008.
82. Meerssman GM, Esposito GM. Valutazione delle relazioni fra occlusione e postura. *Il Dentista moderno.* 1988;6:5-9.
83. Mew, J. R. (2004). The postural basis of malocclusion: a philosophical overview. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics, 126*(6), 729-738.

84. Michelotti, A., Buonocore, G., Farella, M., Pellegrino, G., Piergentili, C., Altobelli, S., & Martina, R. (2006). Postural stability and unilateral posterior crossbite: is there a relationship?. *Neuroscience letters*, 392(1), 140-144.
85. Milani RS, De Periere DD, Lapeyre L, Pourreyron L. Relationship between dental occlusion and posture. *Cranio*. 2000;18:127-34.
86. Milani RS, de Periere DD, Micallef JP. Relationship between dental occlusion and visual focusing. *J Craniomandibular Pract*. 1998;16:109-18.
87. Mossi Erio. Trattato teorico/pratico di Posturologia osteopatica. Integrazione diagnostica dei test, funzioni di equilibrio, perturbazioni, adattamenti e proposte riabilitative. Marrapese Editore – Roma 2002.
88. Murakami, K., Yamamoto, K., Sugiura, T., Kawakami, M., Kang, Y. B., Tsutsumi, S., & Kirita, T. (2013). Effect of clenching on biomechanical response of human mandible and temporomandibular joint to traumatic force analyzed by finite element method. *Medicina oral, patologia oral y cirugia bucal*, 18(3), e473.
89. Natali, A. N. (Ed.). (2003). *Dental biomechanics*. CRC Press.
90. Nitin, G., Sanjay, S. D., & Sanjeev, V. B. (2008). Practical Finite Element Analysis. *Finite to Infinite*, 345-349.
91. Nobili A, Adversi R. Relationship between posture and occlusion: a clinical and experimental investigation. *Cranio*. 1996;14:274-85.
92. O'Higgins, P., Fitton, L. C., Phillips, R., Shi, J., Liu, J., Gröning, F., ...& Fagan, M. J. (2012). Virtual functional morphology: novel approaches to the study of craniofacial form and function. *Evolutionary Biology*, 39(4), 521-535.
93. Olariu V., Roșca I. L. Biomecanica. Ed. Macarie, Târgoviște. Vol I. 1998.
94. Panagiotopoulou, O. (2009). Finite element analysis (FEA): applying an engineering method to functional morphology in anthropology and human biology. *Annals of human biology*, 36(5), 609-623.
95. Pavel S., I. Borza, E. A. Bratu, I. S. Dobosi, P. I. Gaina, **F. Streian**, N. S. Talpos. "Installation for decontaminating used water from a dental unit" Patent Number: RO 129343-A0. 2014
96. Peck, C. C., & Hannam, A. G. (2007). Human jaw and muscle modelling. *Archives of oral biology*, 52(4), 300-304.
97. Perinetti G, Türp CJ, Primozic J, Lenarda R, Contardo L. Associations between the masticatory system and muscle activity of other body districts. A meta-analysis of surface electromyography studies. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 21 (2011) 877-884.
98. Perinetti, G. (2009). Correlations between the stomatognathic system and body posture: biological or clinical implications?. *Clinics*, 64(2), 77-78.
99. Phoenix, Austin, et al. "Changes in hyoid bone position following rapid maxillary expansion in adolescents." *The Angle Orthodontist* 81.4 (2011): 632-638.
100. Pricop M., **Streian F.** Chirurgie orală și maxilo-facială. Lucrări practice pentru studenții anilor V și VI Medicină Dentară. Lito UMFT Victor Babeș Timișoara 2014.
101. Puglisi Filadelfio. Biomeccanica. Introduzione alle misure strumentali di postura e movimento. Marrapese Editore - Roma 2007.
102. Radu C. *Determinarea forțelor de reacțiune din articulația gleznei în condiții dinamice*. Annals of Oradea University. Fascicle of Management and Technological Engineering. 2007.

103. Richmond, B. G., Wright, B. W., Grosse, I., Dechow, P. C., Ross, C. F., Spencer, M. A., & Strait, D. S. (2005). Finite element analysis in functional morphology. *The Anatomical Record Part A: Discoveries in Molecular, Cellular, and Evolutionary Biology*, 283(2), 259-274.
104. Scoppa F. Posturologia e approccio terapeutico integrato: Biomeccanica&Bioenergetica, in: Atti del I Congresso Nazionale di Posturologia – Sorrento, Scuderi Ed., Napoli 1999.
105. Sforza C, Ferrario VF. Anatomical bases of body posture: methods and applications. *Mondo Ortod.* 2008;1;25-32.
106. Sinel'nikova, A. N., Sologubov, E. G., Yavorskii, A. B., Kobrin, V. I., Nemkova, S. A., & Beznosova, A. A. (2001). Interaction between Visual and Proprioceptive Analyzers in Vertical Posture Control. *Human Physiology*, 27(3), 312-316.
107. Sofronia R. E. *Contribuții la utilizarea dispozitivelor haptice în aplicațiile biomedicale. Teză de doctorat.* Universitatea Politehnica Timișoara. 2012.
108. Stavness, I., Hannam, A. G., Lloyd, J. E., Vatikiotis-Bateson, E., & Fels, S. (2008). Tools for predicting biomechanical consequences of alterations to orofacial anatomy. In *International Symposium on Biomechanics, Healthcare and Information Science*.
109. Storm C, Wänman A. A two-year follow-up study of temporomandibular disorders in a female Sami population: validation of cases and controls as predicted by questionnaire. *Acta Odontol Scand.* 2007;65:341-7.
110. **Streian, F.**, Argesanu, V., Kulcsar, R. M., Borozan, I. S., Jula, M., & Talpos-Niculescu, C. (2014). Human Body Posture before and after Maxillofacial Surgery. *Procedia Engineering*, 69, 508-511.
111. **Streian, F.**; Ianes, E.; Vasile, L.; et al. *Oral tuberculosis mimicking squamous cell carcinoma.* Conference: 20th Congress of the European-Association-of-Cranio-Maxillo-Facial-Surgery (EACMFS) Bruges, BELGIUM Date: SEP 14-17, 2010
112. Stratul, S. I., Rusu, D., Kulcsar, R. M., Argesanu, V., Ogodescu, A., & Nica, L. M. (2010). Thermographical methods in highlighting the tendinitis in dentistry. *Annals of DAAAM & Proceedings*.
113. Talpoș-Niculescu C. *Metode moderne de investigare a leziunilor musculo-scheletale la medicii dentiști.* Teză de doctorat. Universitatea de Medicină și Farmacie „Victor Babeș” Timișoara 2012.
114. Talpoș-Niculescu C, Kulcsar RM, Argeșanu A, Anghel MD, Stratul SI, Ianeș E. Investigation of postural status using a podoscanalyzer. *Annals of DAAAM for 2010 Proceedings of the 21 st International DAAAM Symposium, Vol 21, No.1, Pg. 306-8.*
115. Tardieu, Corinne, et al. "Dental occlusion and postural control in adults." *Neuroscience letters* 450.2 (2009): 221-224.
116. Tecco, S., Polimeni, A., Saccucci, M., & Festa, F. (2010). Postural loads during walking after an imbalance of occlusion created with unilateral cotton rolls. *BMC research notes*, 3(1), 141.
117. Tingey EMK, Buschang PH, Thorockmorton GS. Mandibular rest position:a reliable position influenced by head support and body posture. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2001;120:614-22.
118. Valentino B, Fabozzo A, Melito F. The functional relationship between the occlusal plane and the plantar arches. An electromyography study. *Surg Radiol Anat.* 1991;13:171-4.

119. Vascu B. M. Structuri anatomice implicate în funcțiile și disfuncțiile sistemului stomatognat. Teză de doctorat. UMF "Gr. T Popa" Iași 2008.
120. Van der Bilt, A., Engelen, L., Pereira, L. J., Van der Glas, H. W., & Abbink, J. H. (2006). Oral physiology and mastication. *Physiology & behavior*, 89(1), 22-27.
121. Weingartner, T., Haßfeld, S., & Dillmann, R. (1997, June). Dynamic simulation of the jaw and chewing muscles for maxillofacial surgery. In *Nonrigid and Articulated Motion Workshop, 1997. Proceedings., IEEE* (pp. 104-111). IEEE.
122. Weingärtner, T., Haßfeld, S., & Dillmann, R. (1998). Virtual Jaw: A 3D simulation for computer-assisted surgery and education. *Studies in health technology and informatics*, 329-335.
123. Wright, W. G., & Horak, F. B. (2007). Interaction of posture and conscious perception of gravitational vertical and surface horizontal. *Experimental brain research*, 182(3), 321-332.
124. Wong, R. C. W., et al. "Review of biomechanical models used in studying the biomechanics of reconstructed mandibles." *International journal of oral and maxillofacial surgery* 40.4 (2011): 393-400.
125. <http://www.artisynth.org>
126. <http://www.2.aofoundation.org/wps/portal/surgery>
127. <http://www.dentaltribune.com>
128. <http://www.medicinacomplementarasialternativa.ro>
129. <http://optional11b2.wikispaces.com>
130. <http://www.roposturo.ro> accesat la 2012
131. <http://www.imst.pub.ro/index.php/ro/>
132. <http://www.2.unich/> accesat 2014
133. http://www.intropsych.com/ch02_human_nervous_system/homunculus.html
134. http://www.mec.tuiasi.ro/diverse/Biomecanica_gen.pdf
135. <http://www.diasu.com>
136. http://www.drhayattdmd.com/cosmetic_procedures/tmj_disorder
137. <http://www.scribd.com/doc/54505189/Anatomia-Omului-Papilian-Vol-I>
138. <http://www.turbosquid.com/> 3D models for professionals
139. <http://www.flirb200.com>

Anexe

Anexa 1 - Determinarea modificărilor posturale cu ajutorul platformei baropodometrice electronice DIASU SYSTEM

Judetul TM Nr. inregistrare SC
Localitatea TIMISOARA
SPITALUL CLINIC MUNICIPAL DE URGENTA CNP pacient
TIMISOARA CH. MAXILO-FACIALA Situatii speciale
Sectia Salon2
Cod prezentare 1141965 Intocmit de parafa medicului
Internat prin

FOAIE DE OBSERVATIE CLINICA GENERALA

NUMELE T _____ PRENUMELE G _____ Sexul M/F M

Data nasterii: zi luna an 45 ani Grup sangvin: AB A B O ; RH

Domiciliul legal: Judet TM Alergic la: _____

Sect. Mediul U/R R Str..... Data internarii: ora
Resedinta: Judet Localitatea zi luna an

Sect. Mediul U/R Str..... Nr..... Data externarii: ora
Cetatenie Roman Strain zi luna an

Greutatea la nastere (nou nascuti) grame Nr. zile spitalizare
Greutatea la internare (copii 0-1 an) grame Nr. zile c. m. la externare

Ocupatia: fara ocupatie(1);salariat(2);lucrador pe cont prop riu(3); patron(4);agricultor(5);elev/student(6);somer(7);pensionar(8)

Locul de munca: SC SRL

Nivel de instruire: fara studii(1);ciclu primar(2);ciclu gimnazial(3);scoala profesionala(4);liceu(5); scoala postliceala(6);
studii superioare de scurta durata(7);studii superioare(8);nespecificat(9)

C.I./B.I. Seria Nr. Certificat nastere (copil) seria Nr.

Statut asigurat: Asigurat CNAS Asigurare voluntara Neasigurat

Tip asig. CNAS Obligatorie CAS Facultativa CAS Eurocard Acord international

Categ. asig.CNAS: salariat(1);coasig.(2);pensionar(3);copil<18 ani(4);elev/ucenic/student 18-26 ani(5);
gravida(6);veteran(7);revolutionar(8);handicap(9);PNS(10);ajutor social(11);somai(12);alte(13)

Tipul internarii: urgenta (1);trimit.MF(2);trimit.ambulatoriu(3);transfer interspit.(4);la cerere(5);alte(9)

Criteriu internare: urgenta (1);diagnostic(2);tratament(3);nedepasabil.(4);epidemiologic(5);medic sef(6)

Diagnostic trimitere:

Diagnostic internare: FRACTURA SUBCONDILIANA

Semnatura si parafa medicului
ROSU SERBAN

Diagnosticul la 72 ore:

Diagnosticul principal la externare:

- 1 FRACTURA SUBCONDILIANA
- 2 CADERE DE LA ACELASI NIVEL DATORITA IMPIEDICARII

Diagnostic secundare la externare (complicatii/comorbiditati):

- 3 FRACTURA A CORPULUI MANDIBULEI, ALTE PARTI NESPECIFICATE

Semnatura si parafa medicului sef de sectie
Md. Pr. Conf. PRICOP MARIUS

Semnatura si parafa medicului curant
Md. Pr. Conf. PRICOP MARIUS

A.1.1

EXAMENUL CLINIC GENERAL

EXAMEN OBIECTIV

Starea generală *bună* Talie _____ Greutate _____Starea de nutriție *poizată* Starea de conștiență *poizată*

Facies _____

Tegumente _____

Mucoase _____

Fanere _____

Țesut conjunctiv-adipos *bun reprezentat*Sistem ganglionar *neapăruabil*

Sistem muscular _____

Sistem osteo-articular *dubla fractură de mandibulă*APARAT RESPIRATOR *cluc normal*APARAT CARDIOVASCULAR *cluc normal*APARAT DIGESTIV *cluc normal*FICAT, CĂI BILIARE, SPLINA *cluc normal*APARAT URO-GENITAL *cluc normal*SISTEM NERVOS, ENDOCRIN, ORGANE DE SIMȚ *cluc normal*

A.1.2

Tel.: FAX:
E-Mail:

PATIENT FOLDER

Generality							
Last name	T	Name	G	Age	47	Sex	M
DOB	16.10.1967	Weight (Kg)	93	Shoes	---		
Height (cm)	178	Pathology					
Profession		Inserted on	30 ianuarie 2013 - 14:33:20				
Origin							

Private Data					
POB					State
Address					
City			ZIP		State
e-mail			Mobile phone		
Home Phone			Office phone		
I.D.		VAT			
Marital status	Single man	Insurance Code			
Attending Physician					
Prescriptor Physician					

History					
Motor Activity		Level (hours/week)	Sedentary		
Feeding	Normal	Type	Varied		
Meals	Regular	Coffee	Sweets	Drugs	
Psychological	Normal	Type	Ectomorph		
Smoke	No	Qty	Low		
Alcohol	No	Qty	Low		
Sleep (hrs)	0	Quality	Poor		
Childs	0				

A.1.3

Tel.: FAX:
E-Mail:

POSTURAL FOLDER

Frontal					
Bipupillar	Normal	1°Labial	Normal	Ear	Normal
Lf Knee	Neutral	Lf Foot	Neutral	Lf Hand	Neutral
Rg Knee	Neutral	Rg Foot	Neutral	Rg Hand	Neutral

Posterior			
Head Position	Vertical	Shoulders Position	Horizontal
Hip Position	Horizontal		

Lateral			
Occipital	Normal	Dorsal kyphosis	Normal
Gluteal	Normal	Lumbar Lordosis	Normal
Cervical Lordosis	Normal	Humeral Scapula	Normal
Femoral Coxa	Normal	Talocrural	Normal
TMJ	Neutral		

Counter lateral			
Occipital	Normal	Dorsal Kyphosis	Normal
Gluteal	Normal	Lumbar Lordosis	Normal
Cervical Lordosis	Normal	Humeral Scapula	Normal
Femoral Coxa	Normal	Talocrural	Normal
TMJ	Neutral		

A.1.4

Tel.: FAX:
E-Mail:

PATIENT FOLDER

Generality					
Last name	G	Name	I	Age	40 Sex M
DOB	30.06.1974	Weight (Kg)	80	Shoes	42 (EU)
Height (cm)	177	Pathology	traumatism cranio facial		
Profession	Inginer	Inserted on	19 februarie 2013 - 10:16:00		
Origin	romana				

Private Data					
POB					State
Address					
City			ZIP		State
e-mail			Mobile phone		
Home Phone			Office phone		
I.D.		VAT			
Marital status	Single man	Insurance Code			
Attending Physician					
Prescriptor Physician					

History					
Motor Activity		Level (hours/week)	Heavy>5 Hours		
Feeding	Normal	Type	Varied		
Meals	Regular	Coffee	Sweets X	Drugs	
Psychological	Normal	Type	Ectomorph		
Smoke	No	Qty	Low		
Alcohol	Liquors	Qty	Low		
Sleep (hrs)	0	Quality	Poor		
Childs	0				

A.1.5

Tel.: FAX:
E-Mail:

POSTURAL FOLDER

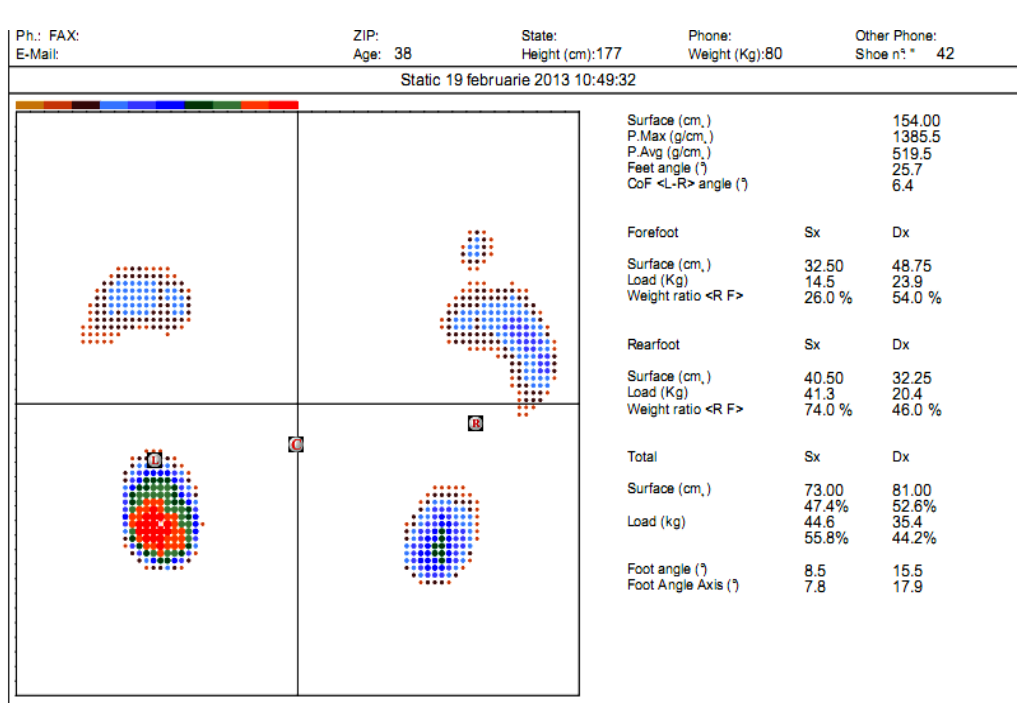
Frontal					
Bipupillar	Normal	1° Labial	Normal	Ear	Normal
Lf Knee	Neutral	Lf Foot	Neutral	Lf Hand	Neutral
Rg Knee	Neutral	Rg Foot	Neutral	Rg Hand	Neutral

Posterior			
Head Position	Vertical	Shoulders Position	Horizontal
Hip Position	Horizontal		

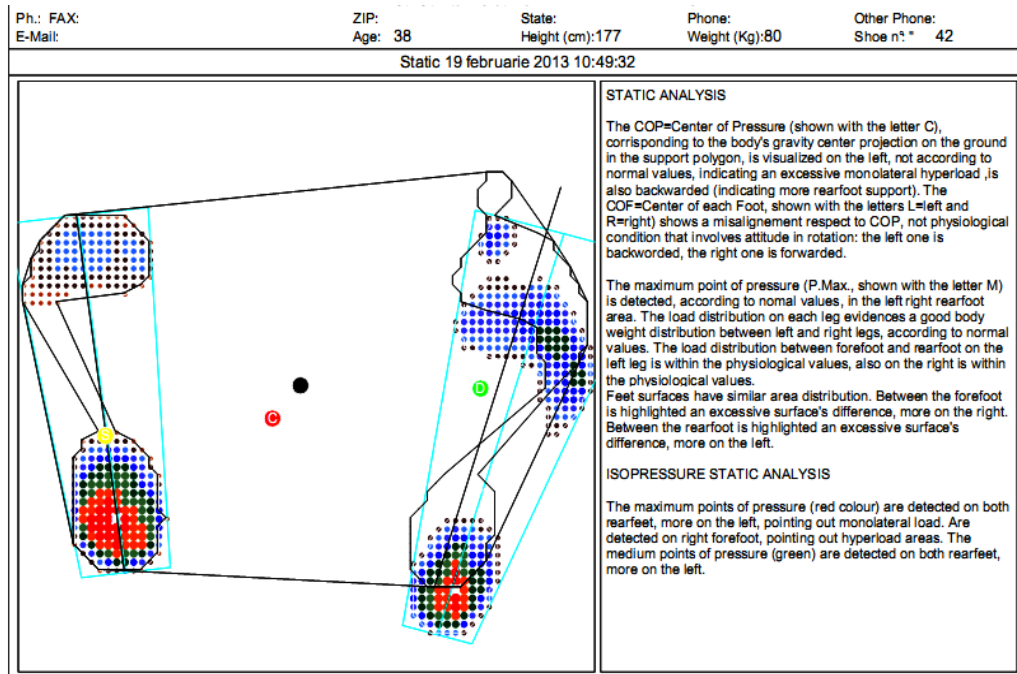
Lateral			
Occipital	Normal	Dorsal kyphosis	Normal
Gluteal	Normal	Lumbar Lordosis	Normal
Cervical Lordosis	Normal	Humeral Scapula	Normal
Femoral Coxa	Normal	Talocrural	Normal
TMJ	Neutral		

Counter lateral			
Occipital	Normal	Dorsal Kyphosis	Normal
Gluteal	Normal	Lumbar Lordosis	Normal
Cervical Lordosis	Normal	Humeral Scapula	Normal
Femoral Coxa	Normal	Talocrural	Normal
TMJ	Neutral		

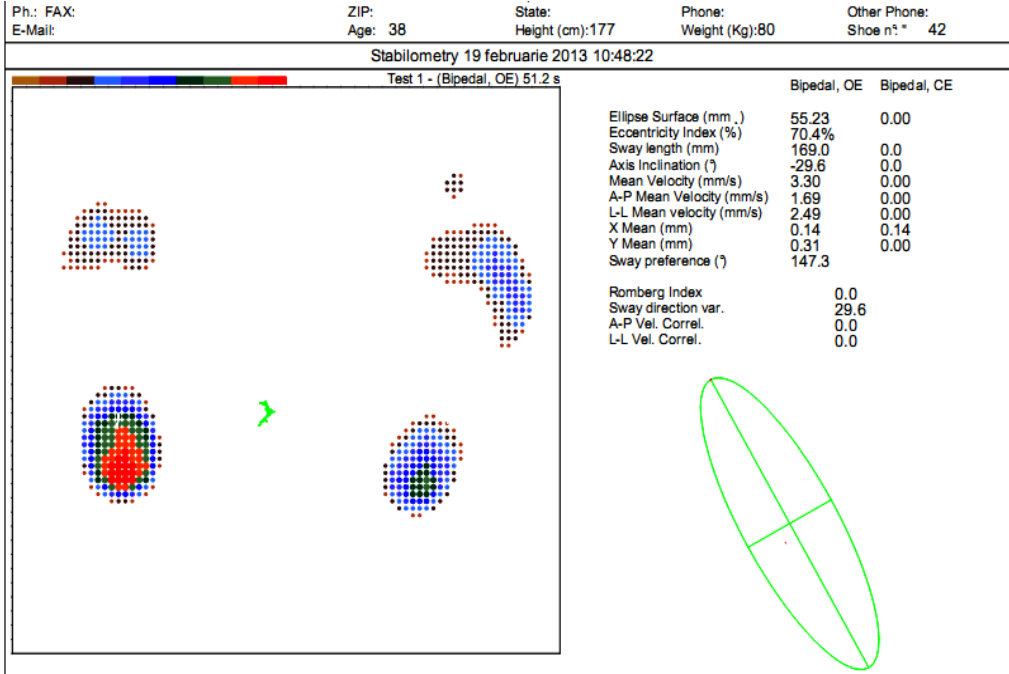
A.1.6



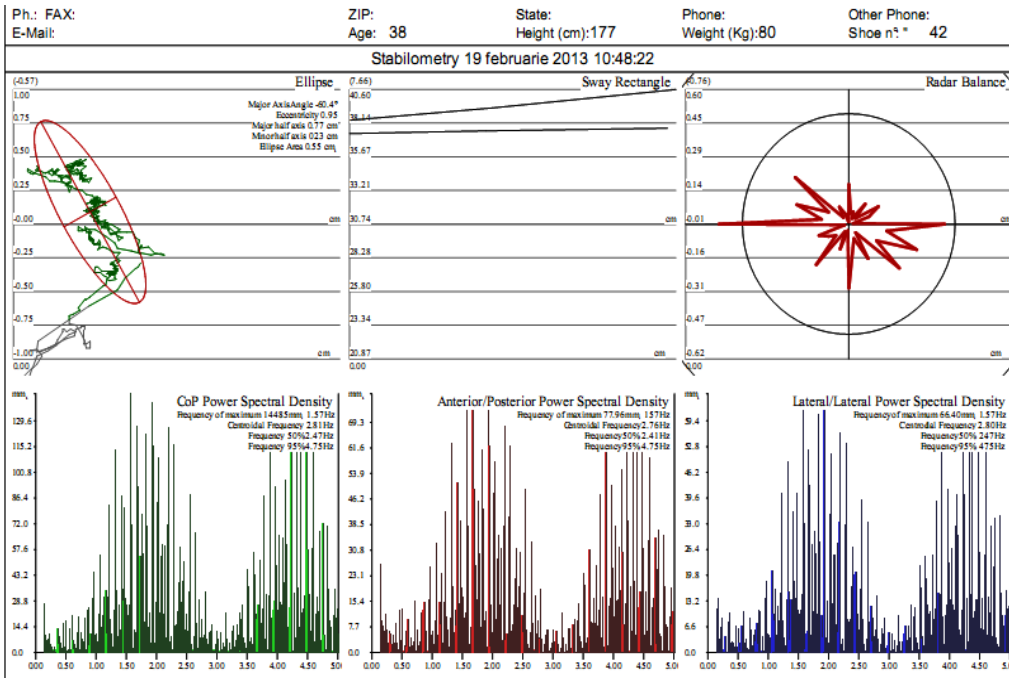
A.1.7



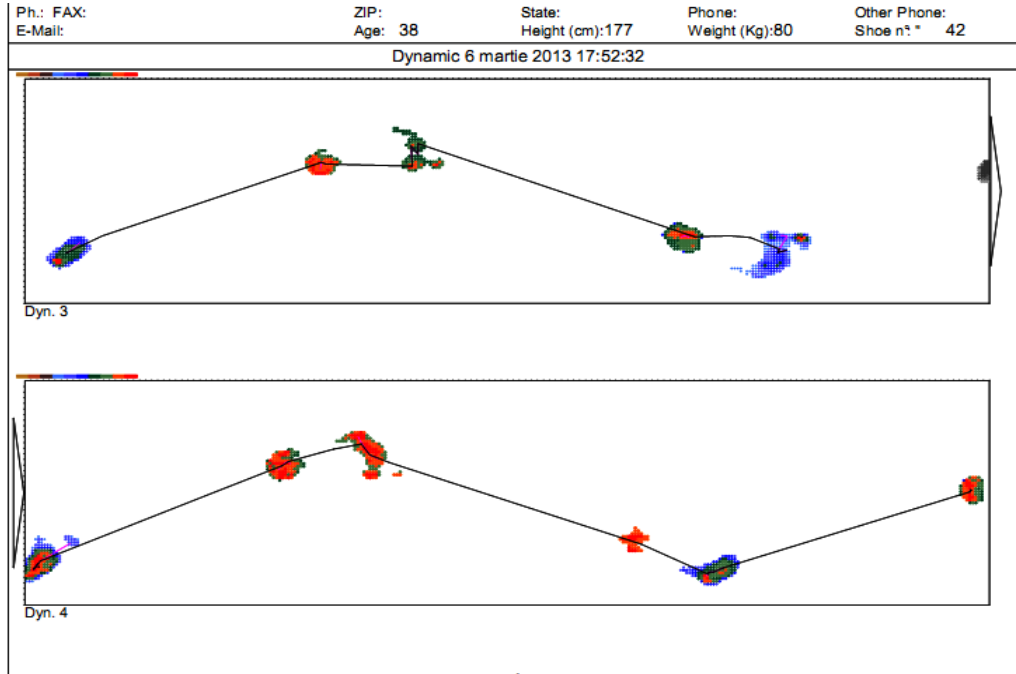
A.1.8



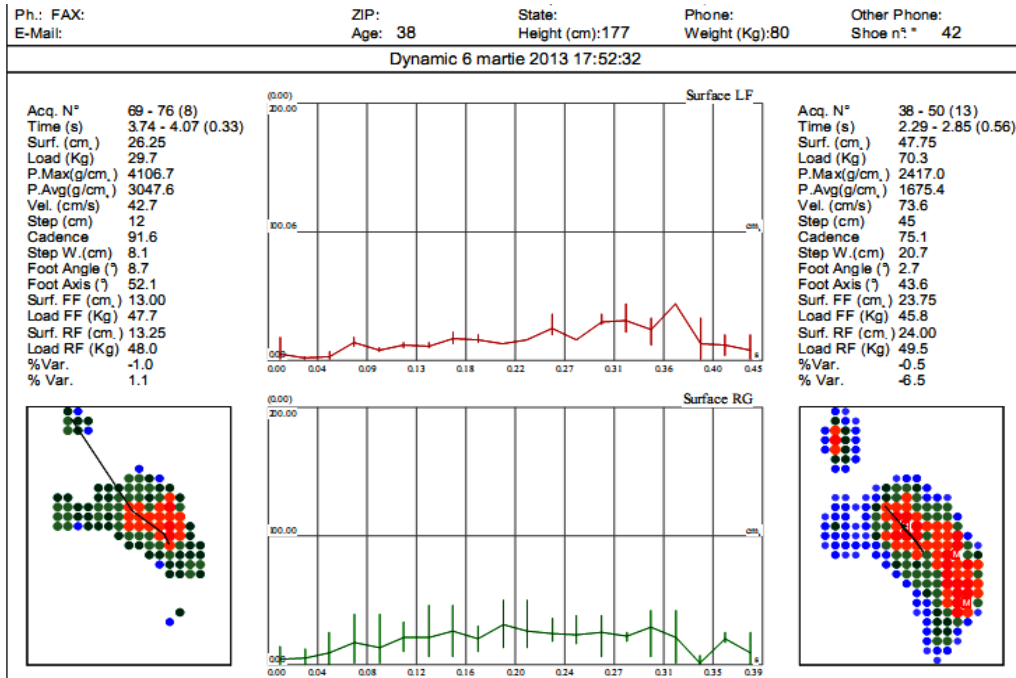
A.1.9



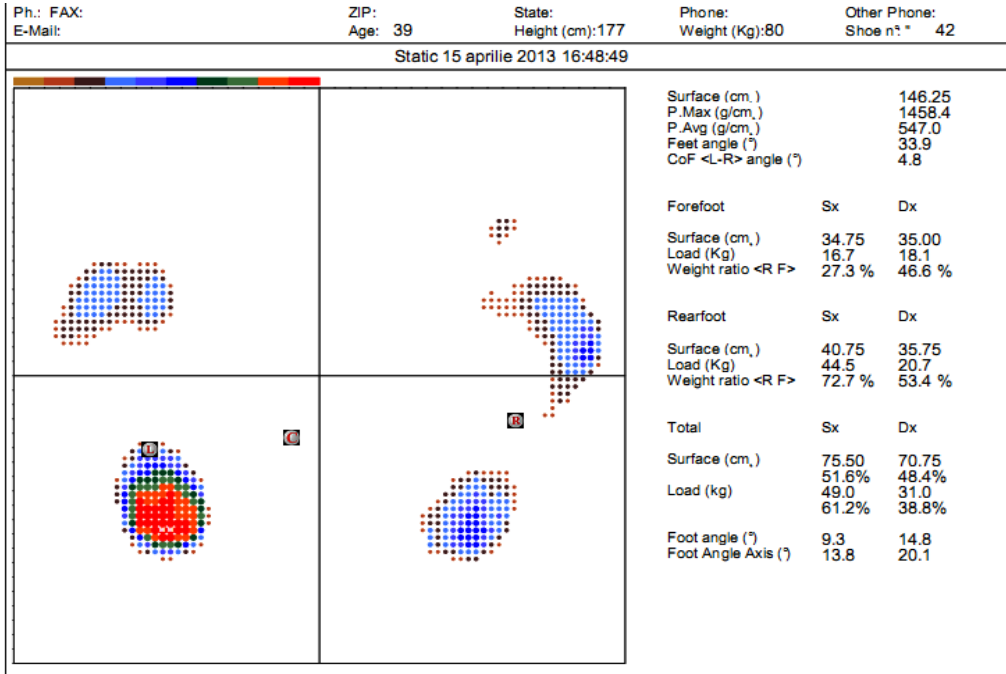
A.1.10



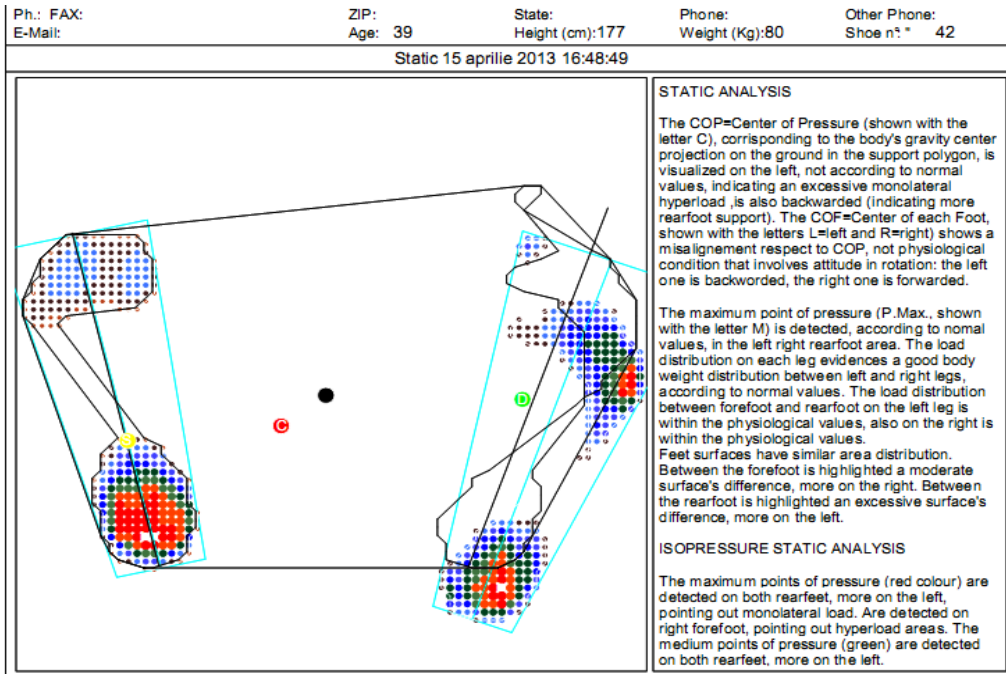
A.1.1.1



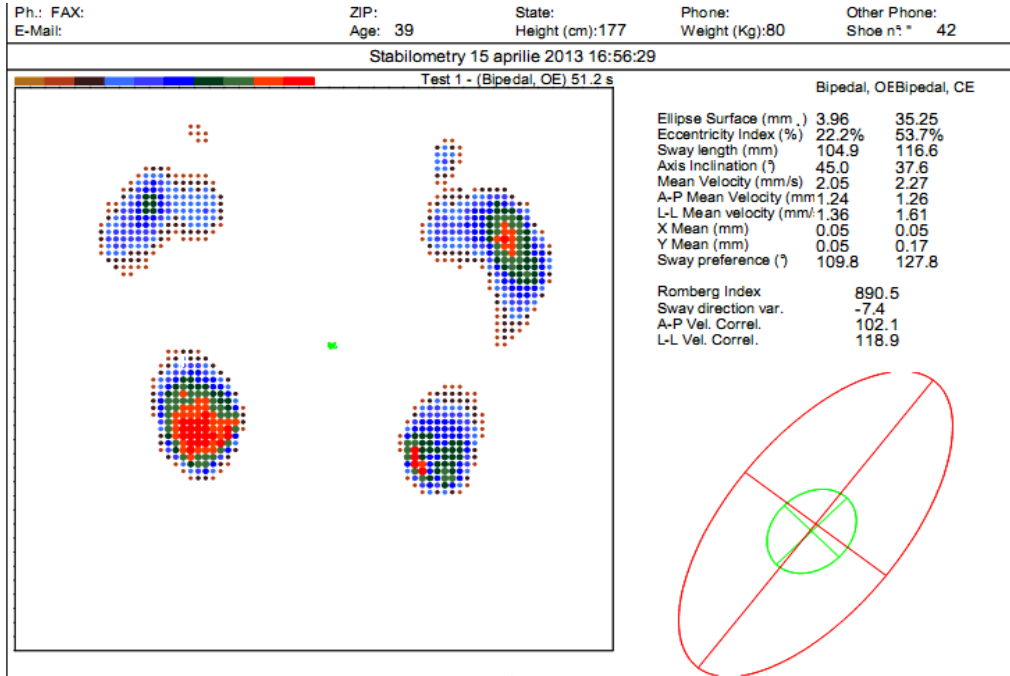
A.1.1.2



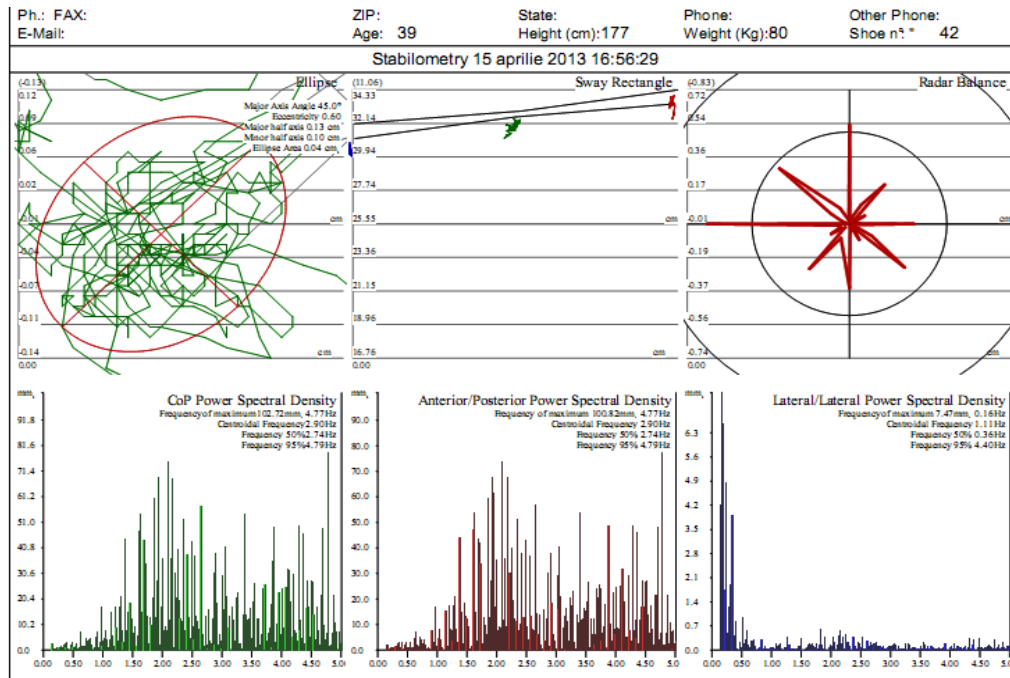
A.1.13



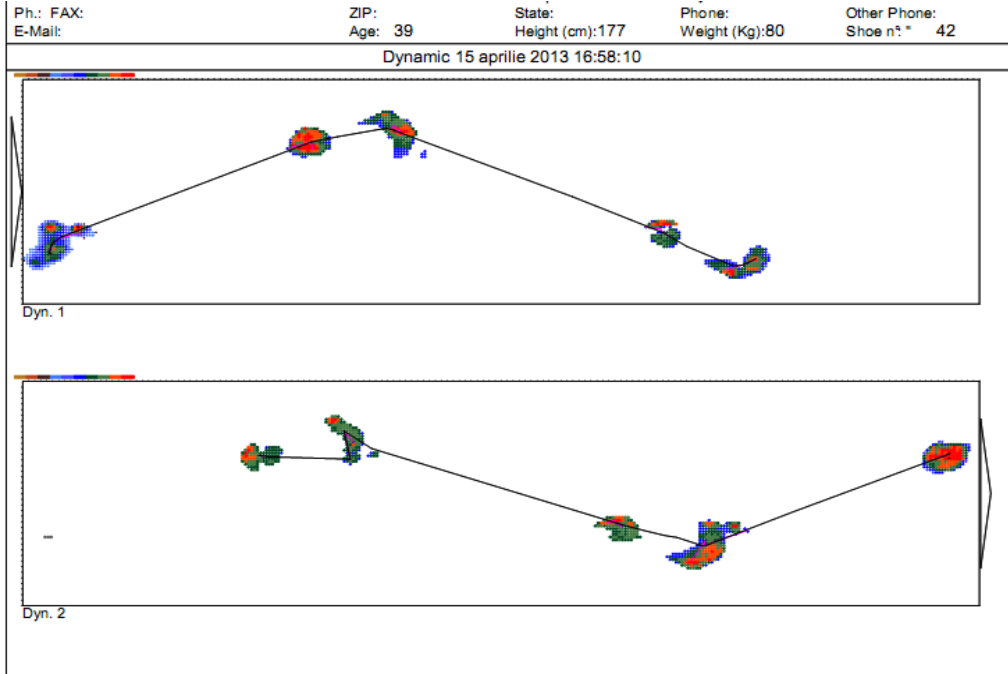
A.1.14



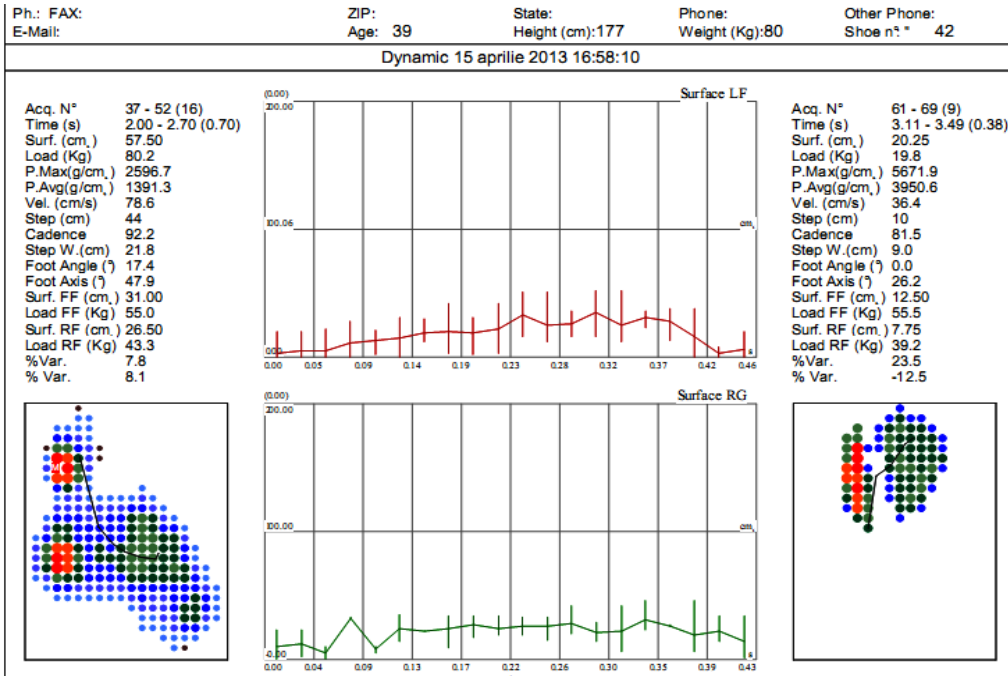
A.1.15



A.1.16



A.1.17



A.1.18

Tel.: FAX:
E-Mail:

PATIENT FOLDER

Generality					
Last name	S	Name	F	Age	16 Sex M
DOB	12.10.1998	Weight (Kg)	41	Shoes	39 (EU)
Height (cm)	155	Pathology	Anomalie dento-maxilara		
Profession	Student	Inserted on	6 martie 2013 - 17:58:19		
Origin	romana				

Private Data					
POB					State
Address					State
City					State
e-mail					Mobile phone
Home Phone					Office phone
I.D.					VAT
Marital status	Single man	Insurance Code			
Attending Physician					
Prescriptor Physician					

History					
Motor Activity		Level (hours/week)	Sedentary		
Feeding	Normal	Type	Varied		
Meals	Regular	Coffee	Sweets	Drugs	
Psychological	Normal	Type	Ectomorph		
Smoke	No	Qty	Low		
Alcohol	No	Qty	Low		
Sleep (hrs)	0	Quality	Poor		
Childs	0				

A.1.19

Tel.: FAX:
E-Mail:

POSTURAL FOLDER

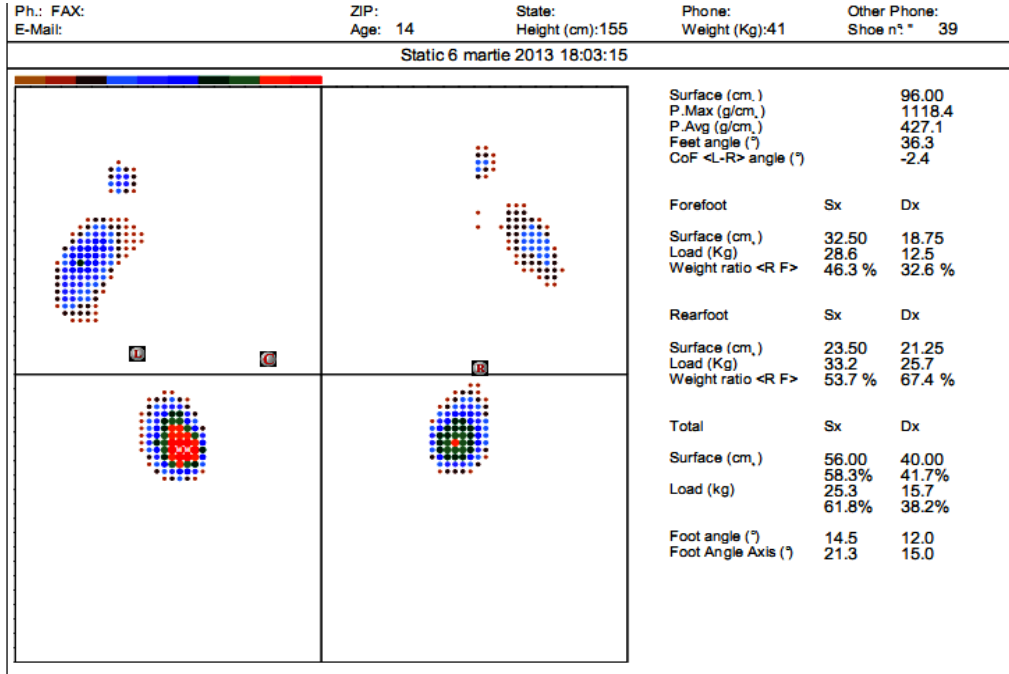
Frontal					
Bipupillar	Normal	1° Labial	Normal	Ear	Normal
Lf Knee	Neutral	Lf Foot	Neutral	Lf Hand	Neutral
Rg Knee	Neutral	Rg Foot	Neutral	Rg Hand	Neutral

Posterior			
Head Position	Vertical	Shoulders Position	Horizontal
Hip Position	Horizontal		

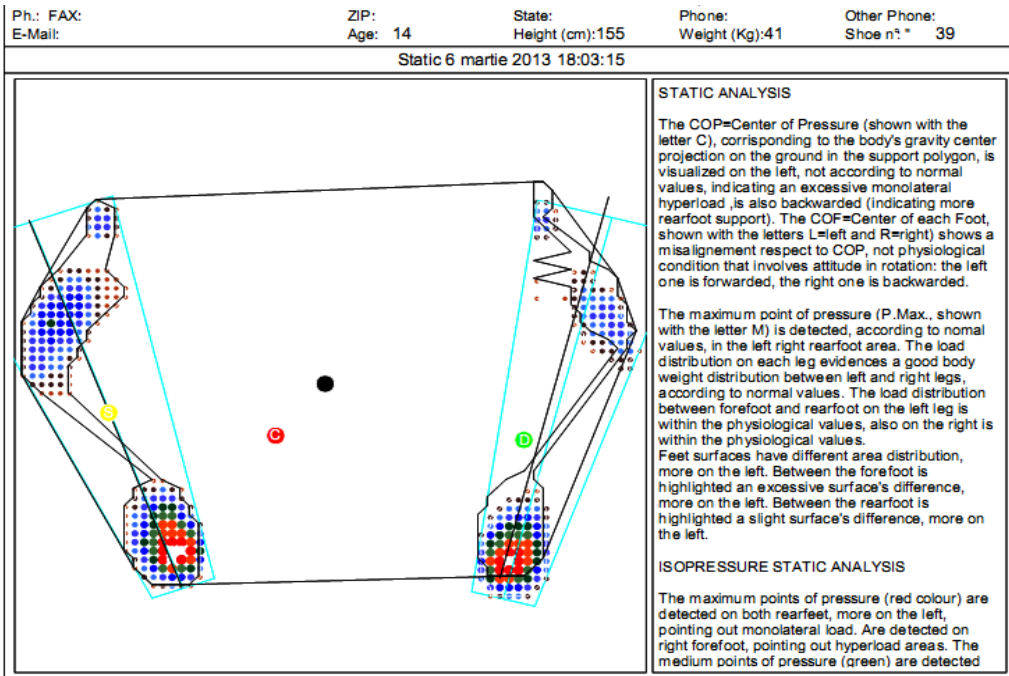
Lateral			
Occipital	Normal	Dorsal kyphosis	Normal
Gluteal	Normal	Lumbar Lordosis	Normal
Cervical Lordosis	Normal	Humeral Scapula	Normal
Femoral Coxa	Normal	Talocrural	Normal
TMJ	Neutral		

Counter lateral			
Occipital	Normal	Dorsal Kyphosis	Normal
Gluteal	Normal	Lumbar Lordosis	Normal
Cervical Lordosis	Normal	Humeral Scapula	Normal
Femoral Coxa	Normal	Talocrural	Normal
TMJ	Neutral		

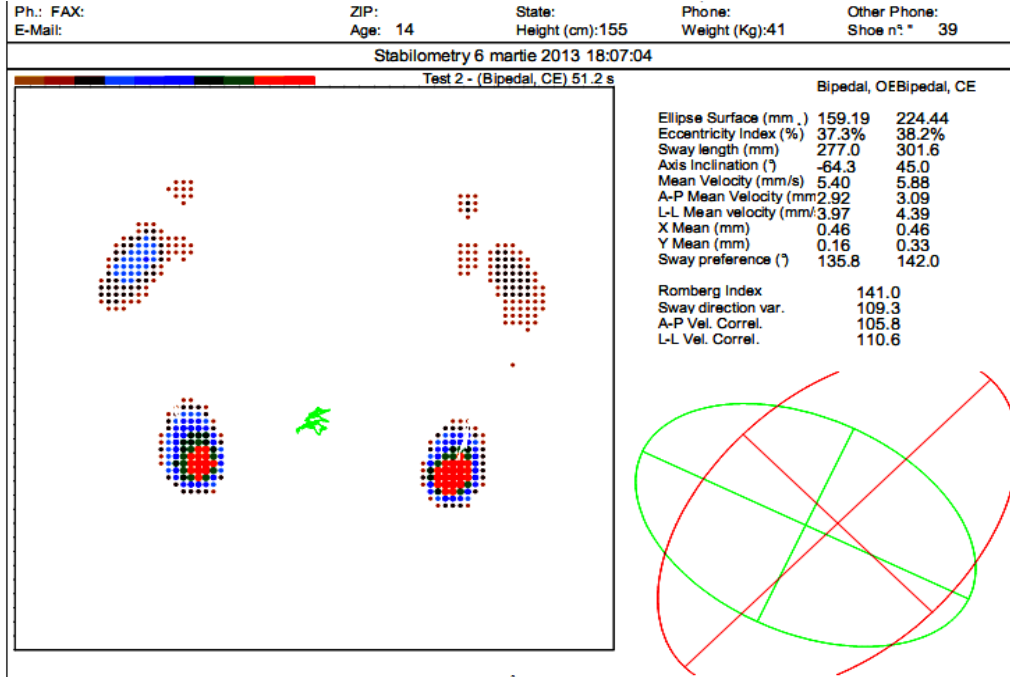
A.1.20



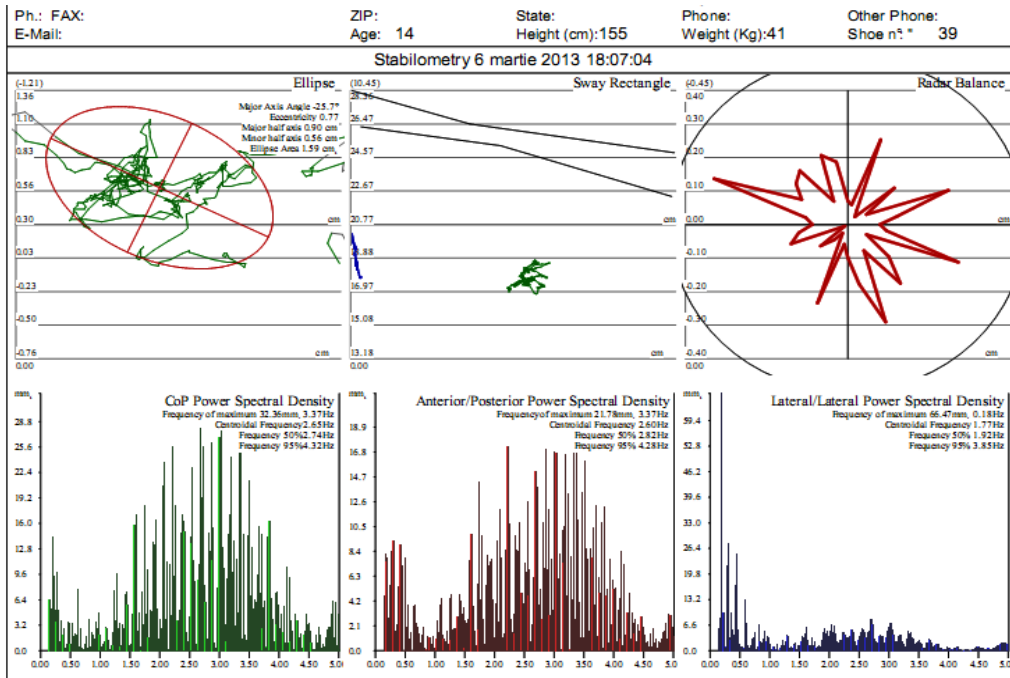
A.1.21



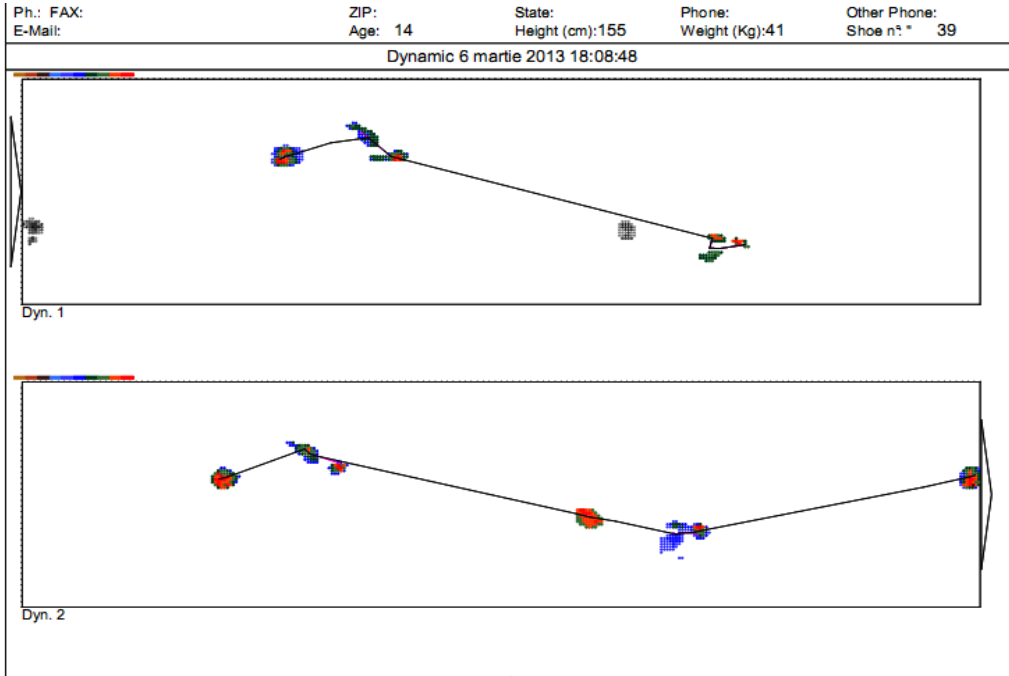
A.1.22



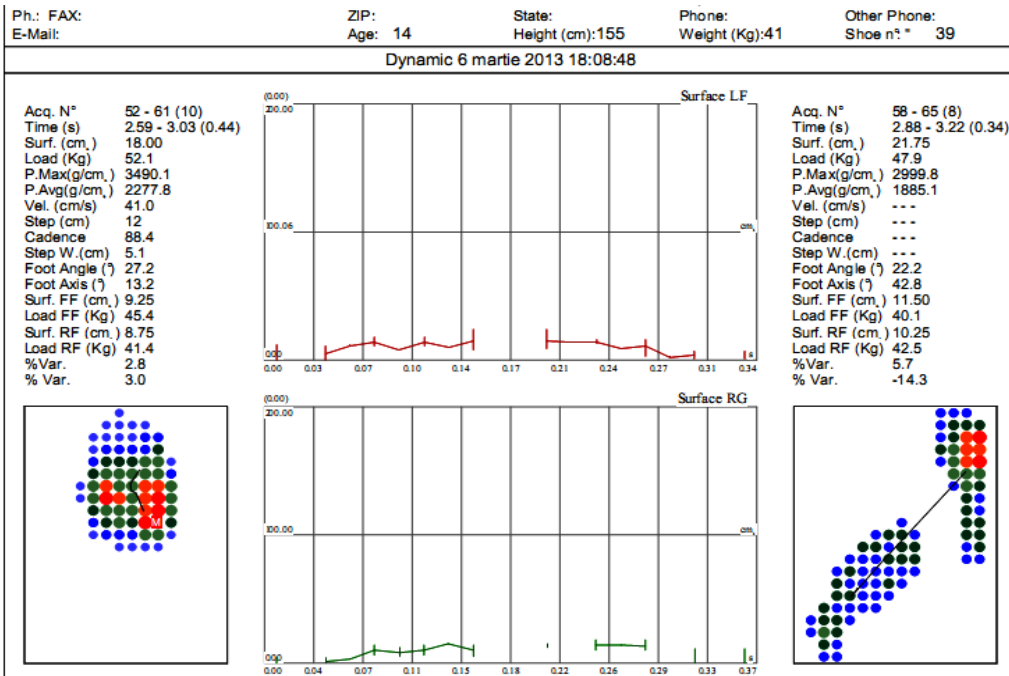
A.1.23



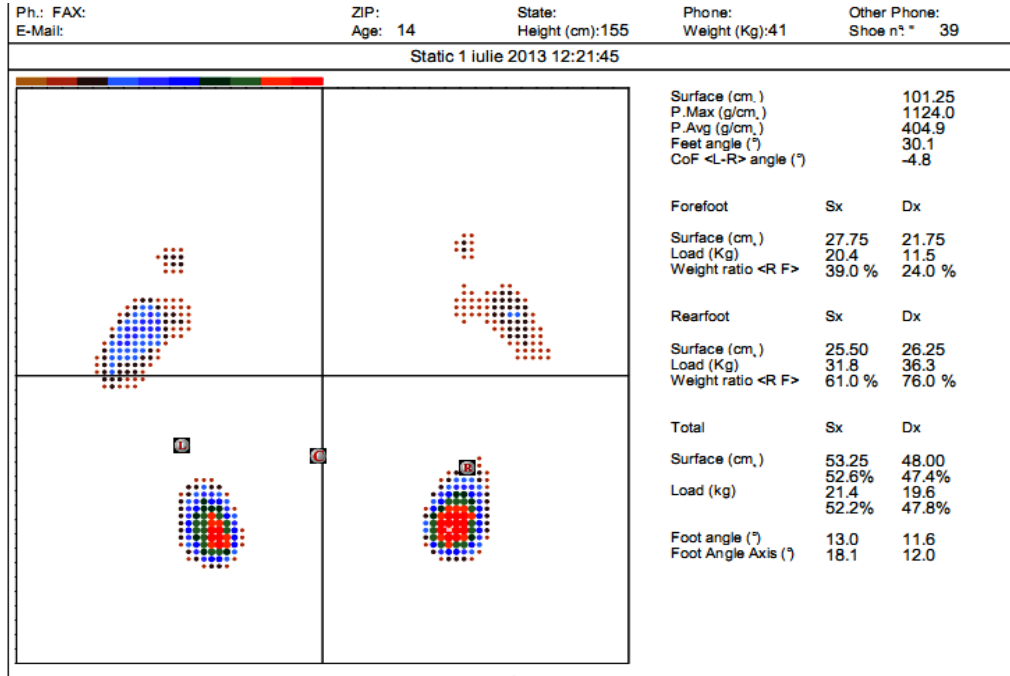
A.1.24



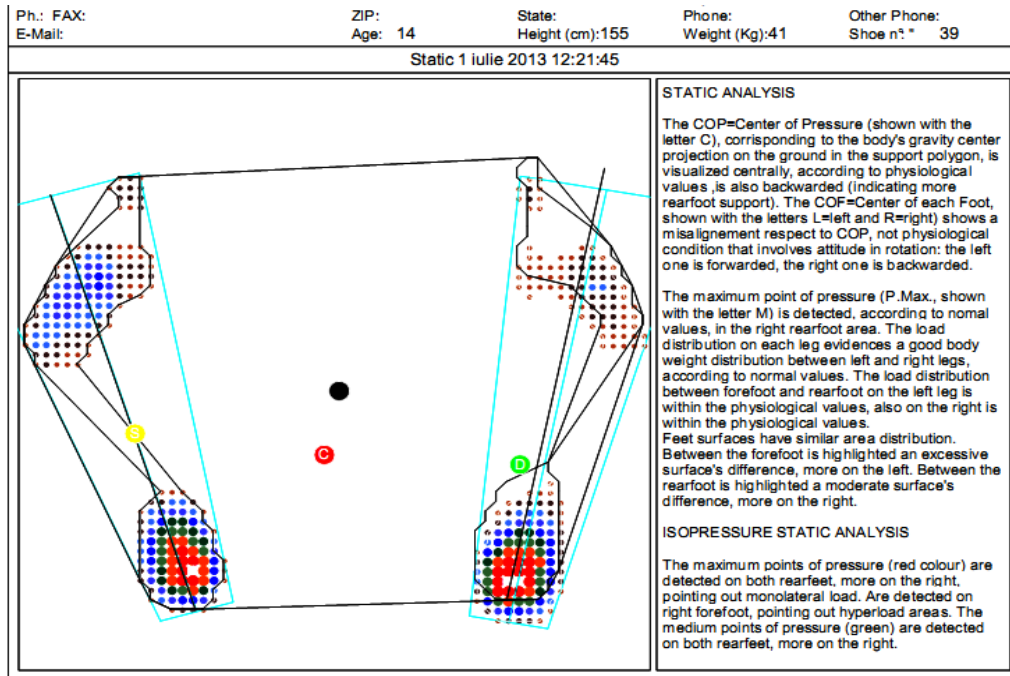
A.1.25



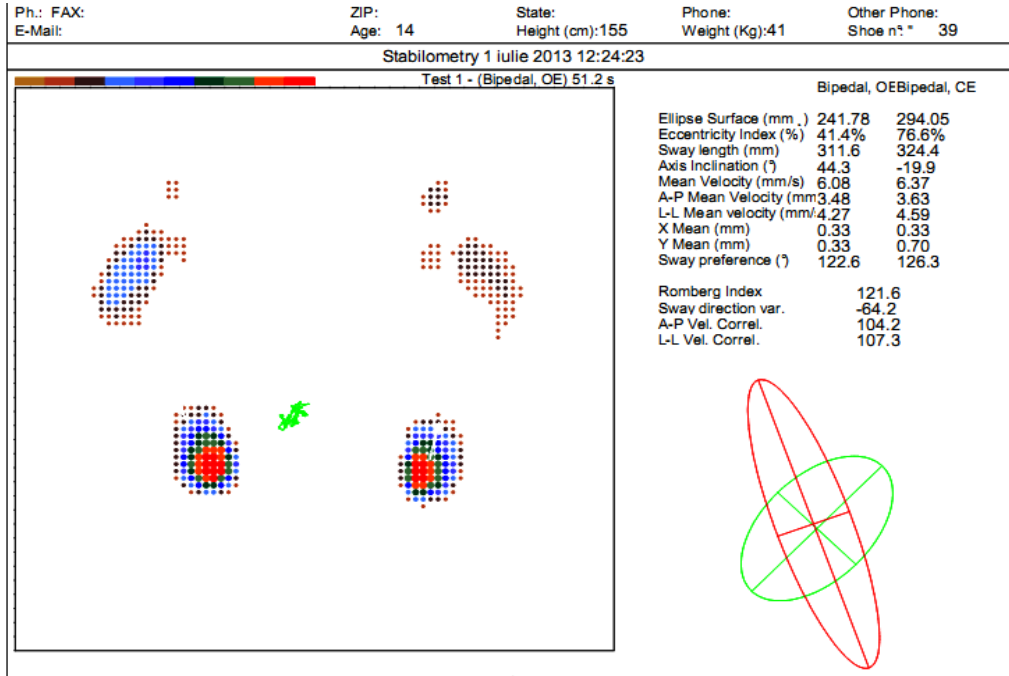
A.1.26



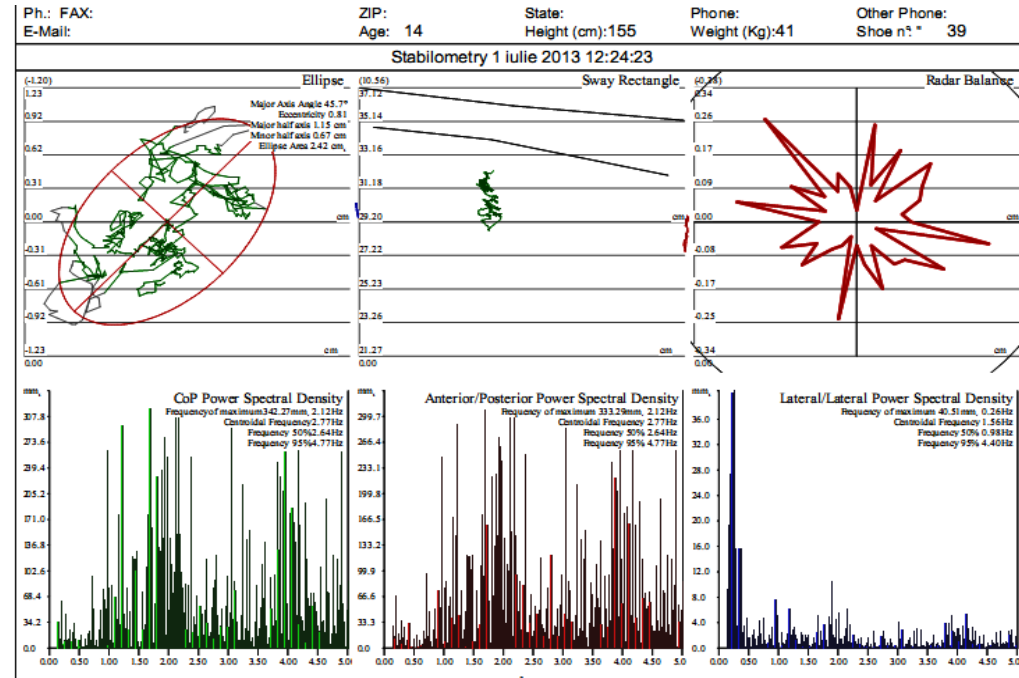
A.1.27



A.1.28



A.1.29

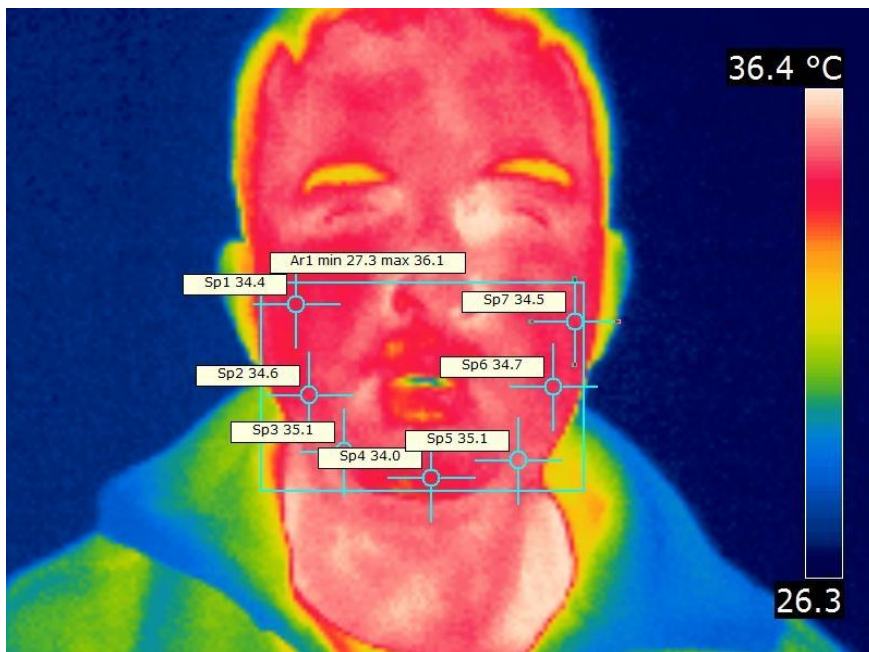


A.1.30

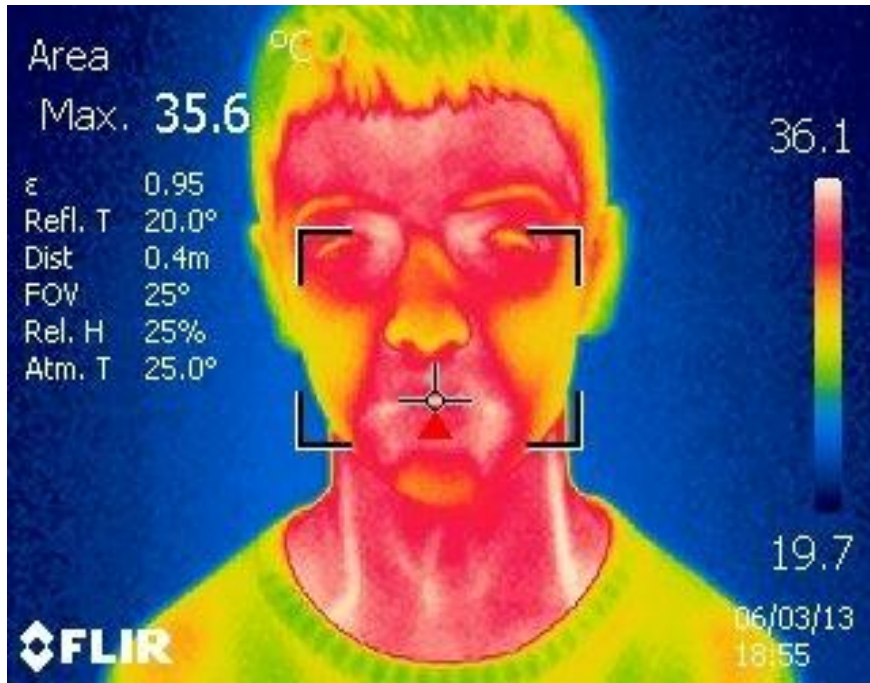
Anexa 2 – Analiza termografică



A.2.1



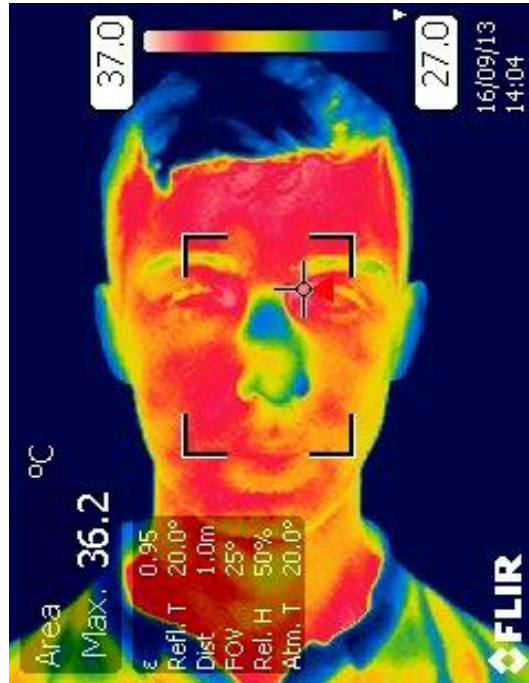
A.2.2



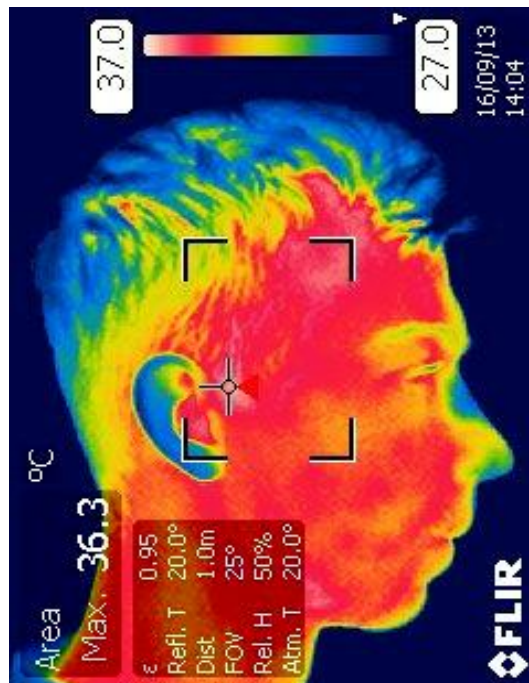
A.2.3



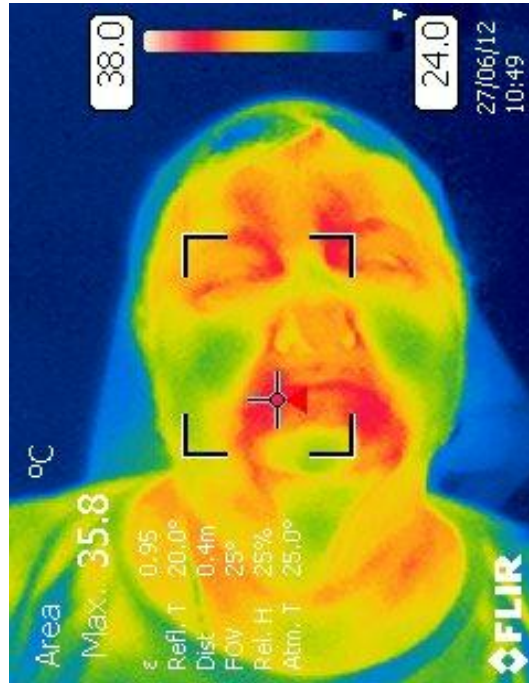
A.2.4



A.2.5



A.2.6



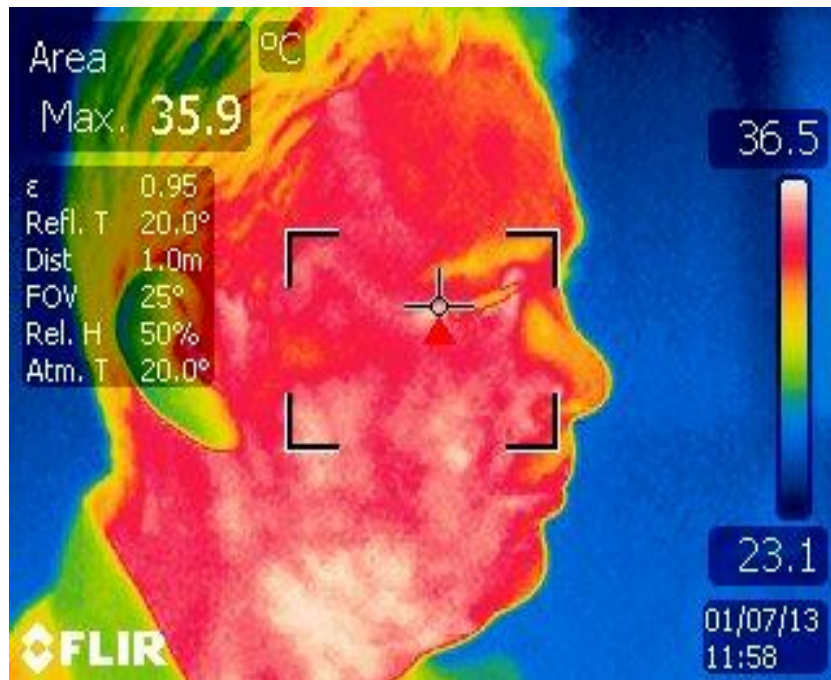
A.2.7



A.2.8



A.2.9



A.2.10