

**UNIVERSITATEA DE MEDICINĂ ȘI FARMACIE  
"CAROL DAVILA" BUCUREȘTI  
Facultatea de Medicină Dentară**

# **TEZĂ DE DOCTORAT**

**STUDIUL UNUI SISTEM INTERACTIV  
DE COORDONARE A ACȚIUNII CHIRURGICALE  
ÎN IMPLANTOLOGIA ORALĂ**

**- REZUMAT -**

**CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC  
Prof. univ. Dr. Augustin MIHAI**

**DOCTORAND  
Mihai-Bogdan BUCUR**

**2010**

# CUPRINS

## PARTEA GENERALĂ

**Capitolul 1. Introducere – Motivația alegerii temei ..... 2**

**Capitolul 2. Bazele morfologice în implantologia orală (Studiu la nivelul structurilor anatomice ale fătului-adultului, edentat-edentat) ..... 5**

2.1 Morfologia maxilarului fetal .....5

2.2. Procesul alveolar .....10

2.3. Anatomia topografică și aplicată a planșeului sinusurilor maxilare .....22

2.4. Topografia canalului mandibular .....23

**Capitolul 3. Metode moderne de investigație specifice în implantologia orală ..... 27**

3.1. Tomografia computerizată (CT) .....27

**Capitolul 4. Bazele teoretice ale realizării și funcționării sistemelor senzitive ..... 33**

4.1. Generalități .....33

4.2. Senzori de viteză și accelerație .....34

4.3. Senzori optici.....40

4.4. Senzori de locație optică – segmentarea imaginii .....45

4.5. Sisteme cu fuziune senzorială .....50

## **PARTEA SPECIALĂ**

<b>Capitolul 5. Ipoteze de lucru</b> .....	<b>58</b>
<b>Capitolul 6. Material. Metodă</b> .....	<b>63</b>
6.1 Premise în utilizarea mijloacelor informatice în implantologie ..	63
6.2 Cerințe pentru realizarea corelării imagistice.....	63
6.3 Cerințe principale pentru un senzor vizual .....	63
<b>Capitolul 7. Cercetări privind substratul morfologic implicat în actul chirurgical</b> .....	<b>65</b>
<b>Capitolul 8. Studiul posibilităților moderne de redare fizică a structurilor 3D</b> .....	<b>90</b>
8.1. Posibilități tehnice de realizare a modelului virtual tridimensional și de realizare a unui model real plecând de la imaginea digitală. Integrarea activităților industriale cu calculatorul .....	90
8.2. Prototiparea rapidă .....	92
<b>Capitolul 9. Studiul modulelor electronice de interfață senzorică cu computerul personal</b> .....	<b>114</b>
9.1 Conceperea unei aplicații informatice care să realizeze interfața între obiectul real și reprezentarea virtuală tridimensională a acesteia.....	114
9.2 Materiale și tehnologii utilizate pentru realizarea obiectivului ..	114
9.4 Metoda de lucru .....	116
9.4 Rotarea structurii în spațiul 3D .....	123
<b>Capitolul 10. Modalități de importare a fișierelor DICOM – managementul procesării informației</b> .....	<b>125</b>
10.1 Importarea fișierelor DICOM Information și managementul procesării informației .....	125
10.2 Importarea Scan-urilor DICOM în Aplicația Java .....	125
10.3 Reprezentarea structurilor anatomice.....	130
10.4 Reprezentarea unei structuri în trei dimensiuni pe ecran.....	130

<b>Capitolul 11. Cercetare de interfață a corelării imaginilor .....</b>	<b>134</b>
11.1 Interfața de corelare a imaginilor .....	134
11.2 Interfațarea cu Accelerometrul LIS3LV02DL .....	134
<b>Capitolul 12. Realizarea dispozitivelor senzorice .....</b>	<b>139</b>
12.1 Dispozitive senzorice .....	139
12.2 Senzori ultrasonici .....	141
<b>Capitolul 13. Realizarea dispozitivelor senzorice – interfațare cu accelerometrul 3D .....</b>	<b>165</b>
13.1 Realizarea dispozitivelor senzorice 3D .....	165
<b>Capitolul 14. Experimentarea dispozitivului de interfațare .....</b>	<b>170</b>
14.1 Modalități de experimentare .....	170
14.2 Utilitatea sistemului interactiv în deciziile și actele terapeutice medicale dentare .....	176
<b>Capitolul 15. Concluzii .....</b>	<b>189</b>
<b>Bibliografie .....</b>	<b>192</b>
<b>Anexe .....</b>	<b>203</b>

Menționăm că în cadrul cercetării, asupra utilizării de mijloace senzitive în obținerea unui model experimental cu aplicații în medicina dentară, inclusă în partea specială a acestei teze, am beneficiat de colaborarea cu prestigiosul Institut de Cercetări pentru Hidraulică și Pneumatică din București (IHP), care ne-a furnizat baza tehnică necesară desfășurării studiului științific.

## PARTEA GENERALĂ

---

## 1. INTRODUCERE – MOTIVAȚIA ALEGERII TEMEI

Medicina dentară a suferit numeroase schimbări în ultimul sfert de secol, una dintre cele mai profunde fiind cea înregistrată în domeniul implantologiei orale.

Implanturile aloplastice endoosoase au fost consemnate încă din secolul VII, dar concepția și inserarea implanturilor dentare s-a dezvoltat plenar pe baze științifice începând cu mijlocul secolului XX. Este important de subliniat contribuția pionierilor în domeniu, ca *Aaron Gershkoff*, *Pruin*, *Scorteci* și lupta lor continuă de a rezolva problemele pacientului edentat.

Numai atunci când aspectele biologice au fost subliniate și au trecut înaintea celor mecanice, implanturile au putut fi considerate mai mult decât o soluție trecătoare. Rezultatele cercetărilor lui *Brånemark* și colaboratorii au captat interesul lumii medicinei dentare.

În timp ce tehnicile progresa, interesul este din ce în ce mai mare pentru procesul de ghidare chirurgicală, prin folosirea sistemelor informatice interactive, alternativă ce tinde să modifice toate protocoalele de până acum, în raport cu experiența medicului și cu predictibilitatea rezultatelor. Astfel, implantologia orală poate deveni, dintr-o tehnică elitistă, o soluție la îndemână cât mai multor practicieni pentru rezolvarea optimă a unui caz de reabilitare orală complexă. Pentru a-l cita pe *Sir Anthony Eden*: „orice descoperire științifică de succes demonstrează falsitatea conceptului învechit de suveranitate”.

Tehnicile de ghidaj ale actului chirurgical s-au dezvoltat în mod spectaculos în ultimul timp, având drept scop principal predictibilitatea intervenției chirurgicale, cu scăderea riscurilor pentru pacient și micșorarea ratei de

eșec terapeutic. Recent, s-au pus la punct o serie de sisteme de ghidare, de la cele mecanice, până la cele care folosesc tehnica avansată de înaltă performanță. La acest fenomen a contribuit și dezvoltarea posibilităților de investigare paraclinică (tomografia volumetrică computerizată, în special), care aduc din ce în ce mai multe informații despre substratul anatomic. Această teză își propune studiul unui sistem de ghidare interactivă a actului chirurgical într-o aplicație în domeniul implantologiei orale, prin investigații paraclinice **3D**, cu elaborarea și optimizarea unor soluții bazate pe senzori de interfață între câmpul de lucru real (substratul anatomic) și reprezentarea virtuală a acestuia, utilizând sisteme informatice.

Problematica abordată în cadrul acestei teze de doctorat va necesita dezvoltarea și implementarea în România a unor tehnologii de vârf în imagistica radiografică, cât și înțelegerea și modernizarea cuantificării datelor obținute prin scanare computerizată. Prin această metodă se urmărește îmbunătățirea diagnosticării preoperatorii, optimizarea terapiei, creșterea ratei de succes postoperator și, implicit, obținerea unei calități superioare a vieții.

## **2. BAZELE MORFOLOGICE ÎN IMPLANTOLOGIA ORALĂ (studiu la nivelul structurilor anatomice ale fătului-adultului, edentat-edentat)**

### **2.1 Morfologia maxilarelor**

Sunt trecute în revistă datele de anatomie topografică cu relevanță pentru intervențiile de implantologie orală. Departate de a servi numai tehnicii chirurgicale în sine, noțiunile de anatomie, sintetizate în capitolul de față, permit în măsură cel puțin egală, o evaluare interdisciplinară.

Progresele importante realizate de științele medicale în general, de implantologia orală în special, au influențat în mod evident și evoluția contemporană a științelor morfologice.

Dintre noile cunoștințe morfologice și funcționale, o bună parte se referă tocmai la procesul alveolar și ele nu puteau să fie omise dintr-un capitolul actual de anatomie.

În spiritul unei anatomii sintetice, topografice, am căutat să relev datele privind raporturile dentare cu spațiile anatomice importante, căile de acces asupra lor, proiecțiile lor la suprafața corpului, noțiunile de anatomie radiologică ș.a. Aplicațiile practice, clinice, au fost prezentate în permanență, ele decurgând în mod logic și natural din expunerea datelor anatomice.

### **3. METODE MODERNE DE INVESTIGAȚIE SPECIFICE ÎN IMPLANTOLOGIA ORALĂ – TOMOGRAFIA COMPUTERIZATĂ (CT)**

Tomografia computerizată (CT) a revoluționat modul în care se analizează și se discută cu pacientul planul de tratament, este un alt mod de a „privi” prin corticalele osoase maxilo-mandibulare. În 1972, *Godfrey Hounsfield* anunță invenția revoluționarei tehnici imagistice, care constă în scanarea computerizată.

Tomograful volumetric computerizat (*NewTom*, Verona, Italia) diferă de tradiționalul scanner dentar CT în sensul că modalitatea de obținere a imaginii se face prin folosirea unui fascicul de raze conice. Tubul de raze X se deplasează în jurul capului pacientului într-o singură spirală, capturând un volum pentru fiecare dintre cele 360 grade ale rotirii. Așa se explică acuratețea tomografului volumetric computerizat *NewTom* care se referă la valori de 0,1 mm. În comparație cu CT convențională, CT volumetrică este o modalitate efectivă de vizualizare a ofertei dento-osoase maxilare, permițând discuția cu pacientul în ceea ce privește planul de tratament. CT volumetrică poate fi utilizată în imagistica dentară standard, chirurgie oro-maxilo-facială, ortodonție, otolaringologie, implantologie, parodontologie, endodonție, ocluzologie.

Principiul de funcționare al tomografiei volumetrice se bazează pe tehnologia fascicului conic de raze X, pe existența unui receptor de tipul amplificatorului de strălucire și a unei camere CCD. Un tub de raze X generează un fascicul conic de raze X în direcția amplificatorului de strălucire. Ansamblul este montat pe un braț motorizat care se deplasează în jurul unui ax. Capul pacientului este introdus în centrul de rotație al tomografului, grație deplasării longitudinale a patului pe care pacientul este instalat.

În chirurgia oro-maxilo-facială și dento-alveolară tomografia volumetrică computerizată își are rolul ei preoperator în odontectomia molarilor de minte incluși, în extracția dinților supranumerari, în planificarea și inserarea implanturilor dentare, în analiza posibilităților de reconstrucție după rezecții osoase datorate prezenței unor tumori, în diagnosticul și tratamentul afecțiunilor articulației temporo-mandibulare.

Datorită beneficiilor CT s-au realizat și modele biomedicale, care sunt exacte, reprezentând anatomia tridimensională a pacientului. Acestea sunt folosite pentru ușurarea vizualizării, planificarea chirurgicală și aplicarea grefelor osoase.

Avantajele pentru clinician constau în faptul că procedeul chirurgical devine mult mai eficient, este minim invaziv, aplicarea implantului este precisă, iar încărcarea protetică imediată este exactă. Avantajele pentru pacient rezultă dintr-un act chirurgical minim, dintr-un timp de vindecare rapid, și din aplicarea precisă a implanturilor, fără a fi necesar un timp îndelungat pentru vindecare.

Chiar dacă numai în clinicile speciale de imagistică dentară se găsesc scanere pentru tomografia computerizată sau unituri pentru rezonanța magnetică, medicii dentiști trebuie să fie familiarizați cu noile sisteme radiologice, deoarece, în cazul anumitor pacienți trebuie recurs la o modalitate superioară de a culege informații despre structurile oro-maxilo-faciale ale acestora sau pacienții pot cere opinii și interpretări ale unor astfel de procesări imagistice.

În acest context, se consideră o necesitate formarea unor noi specialiști pentru procesarea și interpretarea imaginilor radiografice obținute prin scanare computerizată volumetrică.

Având în vedere că până în prezent în România nu s-a efectuat o cercetare pe baza acestui subiect, se urmărește și îmbunătățirea cunoștințelor actuale despre paleta largă a specialităților de medicină dentară care pot avea beneficii în diagnosticarea preoperatorie corectă, rapidă și cu minimum de iradiere a pacientului.

## **4. BAZELE TEORETICE ALE REALIZĂRII ȘI FUNCȚIONĂRII SISTEMELOR SENZORICE**

Lucrarea își propune elaborarea și optimizarea soluțiilor senzoric utilizate de sistemele informatice interactive de ghidare a actului chirurgical într-o aplicație a acestora în sfera oro-maxilo-facială și anume în implantologia orală, în scopul scăderii ratei de eșec operator, prin corelarea exactă, în timp real, a structurilor câmpului operator (suportul osos maxilo-mandibular) cu modelul virtual **3D** al acestuia - rezultat al tomografiei computerizate stratificate, în condiții intraoperatorii, în vederea optimizării deciziei terapeutice.

Caracteristicile modelului, din punct de vedere tehnic și funcțional, vor fi testate în laboratoare special amenajate pentru simularea condițiilor de utilizare clinică, pe modele funcționale.

Realizarea obiectivelor propuse presupune alegerea de senzori și metode optime de determinare pe de o parte a mișcării pacientului în raport cu un sistem de referință - tomografia. În continuare se vor aborda problemele teoretice privind senzorii de mișcare.

## PARTEA SPECIALĂ

---

## 5. IPOTEZE DE LUCRU

Scopul medicinei dentare moderne constă în restaurarea funcționalității, fizionomiei, funcției fonatorii, confortului și a stării de sănătate a pacientului.

În cadrul reabilitării implanto-protetice, pacienții trebuie minuțios examinați, înainte de începerea tratamentului. Trebuie efectuate o anamneză completă și corectă, un examen clinic atent, recomandându-se investigații paraclinice stabilite prin consult interdisciplinar, întrucât afecțiunile generale asociate pot avea un impact asupra indicației de inserare a implanturilor.

Ca urmare a definirii unei situații complexe, generate de caracteristicile loco-regionale din punct de vedere al diversității morfologice, particularitățile substratului osos, dificultățile în identificarea unor formațiuni anatomiche, există posibilitatea realizării unui mijloc interactiv de ghidare a actului chirurgical în implantologie utilizând mijloace moderne imagistice (CT scan, software de interfață, sisteme senzorice) conectate la structurile anatomice maxilo-mandibulare, având ca finalitate reducerea ratei eșecului din cauza erorilor de tehnică chirurgicală.

Prezenta lucrare și-a propus elaborarea unui astfel de sistem experimental, într-o colaborare interdisciplinară tehnico-medicală, ce a vizat optimizarea soluțiilor senzorice utilizate de sistemele informatice interactive ce permit ghidarea actului chirurgical în scopul scăderii ratei de eșec operator.

Caracteristicile aplicației, din punct de vedere tehnic și funcțional, vor fi testate în laboratoare special amenajate, pentru simularea condițiilor de utilizare clinică pe modele funcționale.

## 6. MATERIAL. METODE

### 6.1 Premise în utilizarea mijloacelor informatice în implantologie

Ca rezultat al cercetărilor actuale în ceea ce privește designul implanturilor, biomaterialele, tehnicile chirurgicale și elementele de diagnostic, succesul tratamentului implanto-protetic a devenit o realitate în reabilitarea pacienților în multe situații clinice limită. De aceea se impun câteva cerințe pentru realizarea corelării imagistice care să asiste actul chirurgical, pentru perfecționarea manevrelor clinice.

### 6.2 Cerințe pentru realizarea corelării imagistice

- Se vor utiliza mai multe metode de scanare și de modelare **3D** în etapele experimentale ulterioare pentru a putea compara rezultatele obținute.
- Scanarea prin mijloace optice este utilă într-o primă fază, de superpozare a imaginilor modelului obținut cu obiectul real.
- Se va utiliza tomografia computerizată pentru realizarea unor modele de lucru, pentru identificarea în scop diagnostic și operator a structurilor anatomice și a caracteristicilor acestora.

### 6.3 Cerințe principale pentru un senzor vizual

- simplitate în utilizare;
- viteză mare de prelucrare a informației;
- flexibilitate, posibilitate de adaptare la diferite sarcini (de exemplu regim de bandă rulantă, descărcarea paletelor, controlul pieselor etc);
- sensibilitate geometrică cât mai mare;
- cost redus;

- posibilități simple de conectare în cadrul sistemului;
- siguranță ridicată în funcționare;
- sensibilitate redusă la factori perturbatori.

## PLANIFICAREA ACTIVITĂȚILOR CERCETĂRII

### Obiective anuale în cadrul studiului personal:

<b>Anul 1</b>	<b>Studiu de definire conceptuală a ipotezelor de lucru - analiza metodelor de corelare imagistică utilizate pentru formularea de cerințe</b>	Studiu <i>in vitro</i> de determinare a acurateței rezultatului actului chirurgical prin utilizarea metodelor imagistice curent utilizate
		Documentare privind posibilitățile actuale de optimizare asistate computerizat a actului terapeutic
	<b>Cercetări privind mijloacele de realizare a suprapunerii elementelor câmpului operator cu imaginea tridimensională virtuală</b>	Studiu de aplicabilitate a metodelor informaționale pentru transferul datelor clinice pe model virtual. Amenajarea spațiului adecvat de testare Studiu de analiză a soluțiilor tehnologice de realizare a dispozitivului experimental Studiul modalităților de utilizare a mijloacelor informatice pentru determinarea poziției optime de inserare a implanturilor dentare
<b>Anul 2</b>	<b>Realizarea dispozitivului experimental</b>	Realizarea amprentării individualizate a structurilor câmpului de lucru pentru obținerea modelelor individuale de transfer Realizarea dispozitivelor senzorice de determinare tridimensională de poziție și a interfeței inteligente de comunicare cu sistemul informatic într-o colaborare interdisciplinară
	<b>Testarea dispozitivului experimental</b>	Studiu <i>in vitro</i> de sensibilitate și specificitate a metodei în spațiile special amenajate testării, în scopul determinării acurateței tehnicii chirurgicale Testarea modelului experimental în laboratoarele specializate pe modele Testarea cu instrumentar specific, truse diferite de implantologie, tipuri diferite de implanturi
<b>Anul 3</b>	<b>Analiza datelor și elaborarea concluziilor finale</b>	Analiza comparativă a lucrului cu/fără dispozitivul experimental
		Identificarea rezultatelor prin utilizare în condiții de simulare a actului chirurgical
		Publicarea rezultatelor în reviste de specialitate

## 7. CERCETĂRI PRIVIND SUBSTRATUL MORFOLOGIC IMPLICAT ÎN ACTUL CHIRURGICAL

Imagistica chirurgicală și intervențională se referă la imaginile preluate în timpul și imediat după intervenția chirurgicală, precum și în timpul fazelor de tratament protetic. Scopul este acela de a evalua adâncimea la care este inserat implantul, poziția și orientarea implantului și evaluarea site-ului donor sau receptor de greșă. În aceste situații se pot efectua radiografiile retroalveolare, radiografiile cu film “mușcat”, radiografiile prin substrație, CT.

Scopul imagisticii în implantologie este de a asista colectivul medical implicat în realizarea tratamentului, punând la dispoziția acestuia informații cât mai exacte despre anatomia pacientului la nivelul site-ului propus pentru inserarea de implanturi.

CT/ICT îndeplinesc majoritatea obiectivelor imagisticii preimplantare spre deosebire de radiografiile retroalveolare, cefalometrice, panoramice sau de tomografiile obișnuite. Cantitatea exactă de os disponibil, calitatea sa și relația cu structurile anatomice de vecinătate sunt determinate de CT/ICT la un nivel de precizie considerabil mărit față de tomografie, radiografia retroalveolară sau panoramică.

Prin folosirea ICT și a simulării electronice, echipa operatorie poate determina direct calitatea osului și poate efectua un plan de tratament **3D** electronic.

Radiografiile retroalveolare sau cele digitale retroalveolare sunt tehnicile imagistice de elecție în timpul actului operator.

## 8. STUDIUL POSIBILITĂȚILOR MODERNE DE REDARE FIZICĂ A STRUCTURILOR 3D

În dezvoltarea produselor, un sprijin substanțial îl oferă modelele și machetele ca intermediari ai configurării produselor și al proiectării tehnologiei. Tehnologia CAD/CAM oferă în principal posibilitatea fabricației unor astfel de piese direct pe baza datelor de proiectare. Această cale este urmată consecvent la procedeele de “Rapid Prototyping”.

Ca orice proces, prototiparea rapidă este subiectul unor probleme care influențează rezultatul final, dar care pot fi diminuate cu ajutorul analizei preliminare și a unei aplicări corecte a metodologiilor derivate din aceste analize.

## 9. STUDIUL MODULELOR ELECTRONICE DE INTERFAȚĂ SENZORICĂ CU COMPUTERUL PERSONAL

Aplicația software concepută și interfața cu structurile anatomice reale trebuie să fie capabile să reprezinte în modalitate tridimensională o structură anatomică existentă și să redea modificările/rotațiile prin conceperea unei interfețe între modelul virtual al structurilor și aceasta.

Serii de imagini scanate bidimensionale de la un craniu uman real, realizate într-un format de fișier compatibil cu *MS Windows OS*.

Programul *Java* - executabilul de pornire, afișarea imaginilor utilizate pentru reconstrucție, reprezentarea **3D** a structurilor anatomice (craniul osos).

S-a realizat stocarea acestora în format *Dicom*, utilizat de producător.

Au fost realizate, cu ajutorul software-ului de utilizare a computer-tomografului, reconstrucții **3D** în poziții de referință, utilizând întreg setul de

imagini bidimensionale obținute, în cele 3 axe, pentru a avea o imagine de referință în comparație cu rezultatele software-ului de interfațare conceput în cadrul lucrării. Premergător, în scopul redării tridimensionale a structurilor anatomice, au fost efectuate testări utilizând mijloace informatice și modele de structuri tridimensionale, pentru stabilirea cerințelor software a limbajului de programare aferent.

S-au testat posibilități de identificare, pe imaginea virtuală **3D** a structurilor anatomice redate, prin utilizarea de puncte sau suprafețe de referință, acționate prin mouse sau printr-o tabletă grafică virtuală, astfel încât să fie redate puncte antropometrice de referință sau suprafețe cu relevanță diagnostică (redescompunerea în **2D** a suprafețelor alese, în funcție de necesitățile de diagnosticare și stabilire a planului de tratament).

## **10. MODALITĂȚI DE IMPORTARE A FIȘIERELOR DICOM – MANAGEMENTUL PROCESĂRII INFORMAȚIEI**

*DICOM* (Digital Imaging and Communications in Medicine), un standard folosit în distribuția și vizualizarea imaginilor medicale; de asemenea, *DICOM* este și un protocol de rețea la nivel de aplicație pentru transmiterea datelor medicale.

Experimentele au folosit serii de imagini *DICOM* (în număr de aproximativ 400 per serie) stocate în memoria calculatorului. Aceste scan-uri cuprind imagini reprezentând secțiuni transversale ale unui craniu uman la coordonate de înălțime (*Z*) diferite.

Pentru importarea scan-urilor *DICOM* în aplicația Java, a fost folosit pachetul *Dicom.jar*, găsit la adresa <http://www.rip.ucla.edu/~shah/dicom/>.

Conform licenței pentru drepturi de autor descrisă la adresa indicată, acest pachet poate fi folosit fără restricții în orice aplicație, atâta timp cât un fișier descriind o licență tip MIT (Massachusetts Institute of Technology)

pentru acest pachet este inclus odată cu aplicația, [http://en.wikipedia.org/wiki/MIT\\_License](http://en.wikipedia.org/wiki/MIT_License).

Pachetul Dicom.jar permite importarea unui fișier în format DICOM, aflat în sistemul de fișiere al sistemului de operare, într-o aplicație Java folosind o reprezentare tip `BufereedImage`. `BufereedImage` este o structură de date *Java* (o clasă), aflată în pachetul standard `java.awt.image.*`, care permite stocarea și modificarea unei imagini.

## 11. CERCETARE DE INTERFAȚĂ A CORELĂRII IMAGINILOR

Am utilizat accelerometrul LIS3LV02DL, un dispozitiv capabil să recunoască unghiurile de rotire în jurul celor trei axe, în funcție de poziția sa în spațiul real.

Aparatul LIS3LV02DL se conectează la calculator folosind USB și emulează un port COM virtual. Dispozitivul prezintă niște aplicații de evaluare proprii, prin care ieșirile obținute de la dispozitiv sunt folosite în diverse scopuri: reprezentări pe un grafic ale intensităților/unghiurilor de rotire pentru fiecare ax, prin intermediul rotirii senzorului, mișcarea pointer-ului de la mouse pe ecran etc.

## 12. REALIZAREA DISPOZITIVELOR SENZORICE

Constă în determinarea tridimensională de poziție și a interfeței inteligente de comunicare cu sistemul informatic, precum și în testarea modelului experimental în laboratoarele specializate pe modele de simulare. Din studiile efectuate în faza anterioară asupra modalității de determinare în timp real a poziției pacientului (câmpul operator) în raport cu modelul 3D de referință, afișat pe ecran și obținut prin tomografie 3D, precum și a poziției instrumen-

tului chirurgical în raport cu pacientul, se poate determina poziția în timp real a instrumentarului chirurgical față de modelul de referință.

Aceasta presupune atașarea de senzori de mișcare pentru pacient pe de o parte și pe instrumentul chirurgical pe de altă parte. Evident, este necesară stabilirea de la început a poziției inițiale de calibrare (suprapunerea celor trei componente).

### **13. REALIZAREA DISPOZITIVELOR SENZORICE – INTERFAȚARE CU ACCELEROMETRUL 3D**

Deoarece pacientul se află pe scaunul dentar care nu permite mișcări de translație ci doar de rotație, dispozitivul montat pe capul pacientului, este suficient să detecteze doar mișcările de rotație pe cele trei axe. În acest scop, dispozitivul a fost dotat cu un senzor de accelerație, prin care se determină rotațiile în jurul axei  $O_x$  și  $O_y$  rotația în jurul axei  $O_z$  se face cu un senzor magnetometric  $xy$ .

Dispozitivul senzoric **3D** pentru instrumentar este dispozitivul principal care conține pe lângă senzorii similari cu dispozitivul pentru pacient, un bloc senzoric dotat cu un emițător de ultrasunete și, separat, un ansamblu format din trei module de recepție US cu amplificatoare integrate, dispuse în același plan, situat la o distanță  $D$  față de emițător, în vârfurile unui triunghi dreptunghic isoscel cu catetele egale cu  $R$ . Ansamblul conține modulul interfețe inteligente de comunicare cu PC, montat la mijlocul ipotenuzei.

Au fost identificate posibilități de comunicare cu accelerometrul utilizat, pentru a stabili concordanțe în dinamică, între structurile anatomice reale și imaginea tridimensională digitală.

## 14. EXPERIMENTAREA DISPOZITIVULUI DE INTERFAȚARE

S-au utilizat aplicația software și interfața cu senzorul de accelerație, realizându-se simularea condițiilor de lucru din cabinetul de medicină dentară.

Spațiul de cercetare a condițiilor de lucru propune realizarea unui mediu de lucru pe baza conceptului de ergonomie uman-centrată (human-centred ergonomics) în medicina dentară. Acesta va permite medicului dentist - în toate specialitățile domeniului - să beneficieze simultan de avantajele oferite de fiecare standard de lucru ISO 1-4 eliminând dezavantajele individuale ale acestora. Astfel se oferă o individualizare accentuată a modului de lucru în toate specialitățile domeniului. În acest scop, s-a realizat dotarea unui laborator de cercetari ergonomice cu mijloace informatice și aparatură modernă.

S-au realizat simulări ale mișcărilor unui pacient în pozițiile culcat și semi-șezând, prin modificarea poziției scaunului și modificarea poziției capului prin reglajul tetierei și prin mișcări ale capului 45 grade extensie-flexie, rotație și mișcare stânga-dreapta, în măsura în care acestea sunt posibile în condiții reale.

S-a realizat calibrarea software-ului și a interfeței pentru a permite urmărirea lucrului în timp real, concomitent permițând și o bună rezoluție a imaginilor.

S-au utilizat imagini statice și imagini filmate pentru monitorizarea aplicației, pentru demonstrarea gradului de interactivitate.

## CONCLUZII

Cercetările în cadrul tezei de doctorat au urmărit să demonstreze posibilitatea realizării unui mijloc interactiv de ghidare a actului chirurgical în implantologie, utilizând mijloace imagistice moderne (CT scan, software de interfață, sisteme senzitive) conectate la structurile anatomice maxilo-mandibulare, în scopul reducerii eșecului chirurgical datorită erorilor de tehnică operatorie.

Acest lucru a fost realizat prin metode experimentale în cadrul unei colaborări interdisciplinare tehnologico-medicale în care s-au studiat din punct de vedere al utilității clinice:

- C.T.
- diferite tipuri de sisteme senzitive.
- repere anatomice și modalități de transpunere și suprapunere ale acestora cu reconstrucțiile 3D obținute virtual.

După analiza multiplelor soluții tehnice și a relevanței lor în actul chirurgical, am desprins următoarele concluzii:

1. Asistarea prin mijloace 3D studiate experimental a actului chirurgical determină în mod sensibil reducerea ratei de eșec la inserarea implanturilor dentare. Acest lucru a fost evidențiat printr-o rată zero de eșec în utilizarea dispozitivului într-un setup experimental (*in vitro*).

2. Structurile anatomice maxilo-mandibulare studiate prezintă multiple elemente - markeri de risc, cu variabilitate individuală ce necesită investigație imagistică 3D. În cadrul tezei, am realizat utilitatea unei investigații 3D care are posibilitatea de a fi corelată în timp real cu poziționarea pacientului.

3. Având în vedere limitele instrumentelor software utilizate pentru reconstrucția 3D a imaginilor obținute prin CT scan, s-a investigat utilitatea realizării experimentale a unui software original care să prezinte elemente suplimentare de analiză.

4. Studiul comparativ al diferitelor modalități de reprezentare a imaginilor prin diverse sisteme CT scan a demonstrat relevanța pentru realizarea unui dispozitiv experimental a acestei modalități din mai multe puncte de vedere:

- inexactitatea investigației CT scan (erori submilimetrice) nu sunt relevante în aplicarea “*in vitro*” a dispozitivului experimental.
- dispozitivul experimental a utilizat chiar un număr mai redus de imagini pentru mărirea vitezei de reacție, păstrându-și în același timp relevanța clinică.
- toate sistemele CT scan utilizează serii de fișiere comprimate în format *DICOM*, format universal ce poate fi prelucrat prin aplicații informatice de bază (*Java*) care nu necesită licență.

5. Din diversitatea de repere anatomice posibil de utilizat pentru suprapuneri ale imaginilor virtuale cu structurile anatomice reale, în cadrul cercetărilor tezei de doctorat, am evidențiat printr-un studiu anatomico-morfologic cele mai constante repere de utilizat pentru dispozitivul experimental atât din punct de vedere clinic cât și tehnic.

6. Posibilitățile de suprapunere ale imaginilor sunt condiționate atât de structurile anatomice locale existente, necesare pentru implanturi, reprezentate de oferta osului restant, cât și de raporturile cu sinusul maxilar, fosele nazale, canalul mandibular.

7. Au fost analizate diferite modalități de transpunere - șablon chirurgical, inele ortodontice, inserare de pinuri - pentru a realiza concordanța între imaginea virtuală tridimensională cu cea anatomică reală, astfel încât să se

evite erorile sistematice (o poziție de start eronată) în realizarea dispozitivului experimental.

8. Prin intermediul acestor sisteme clinice de transpunere a imaginilor, prin adăugarea unor repere de măsurare, poate fi determinată, în secțiuni specifice, poziția ideală de inserare a implanturilor, astfel dispozitivul obținut poate fi utilizat și ca un mijloc de realizare a planului de tratament.

9. Prin studiul tehnicilor CAD-CAM și folosind cuplarea imaginilor **3D**. CTscan la aceste dispozitive s-au realizat, în cadrul cercetarilor efectuate, modele **3D** ale structurilor anatomice și șabloane chirurgicale. Un șablon CAD-CAM obținut cu ajutorul unei examinări CT asociate cu analiza pe modelul anatomic real obținut s-a dovedit un mijloc util pentru realizarea într-un timp foarte scurt a planului de tratament, în același timp dând posibilitatea poziționării exacte pe șablon a reperelor alese.

10. S-a remarcat, în cadrul studiilor experimentale de corelare a imaginilor “real-virtual”, adaptabilitatea instrumentelor software originale elaborate pentru interpretarea clinică a datelor deținute (secțiuni anatomice în diverse planuri și la diferite niveluri care evidențiază și diferențele de densitate osoasă esențiale în stabilirea planului de tratament).

11. În cadrul studiului interdisciplinar din „*spațiul tehnic*” s-au analizat comparativ diferite modalități de realizare a unei interfețe de corelare a imaginilor. Astfel, au fost investigate posibilitățile de realizare a **interfeței** prin senzori electrodinamici, magnetodinamici, optici și senzori de accelerație. În urma acestei analize, am decis utilizarea senzorilor de accelerație în realizarea dispozitivului experimental, având în vedere parametrii, exactitatea de răspuns, viteza de reacție și în mod special dimensiunea foarte redusă a acestora (2/2/1.5 mm). Utilizarea “*in vitro*” a acestor senzori demonstrează posibilități potențiale ale utilizării acestora într-un dispozitiv real, ce va permite evaluarea în timp real a structurii osoase, influențând în mod direct calitatea actului chirurgical.

12. Realizarea acestui experiment, într-o simulare de cadru operator, a demonstrat o viteză bună de reacție a dispozitivului și o acuratețe mare, care certifică posibilitatea reală de utilizare clinică a acestuia. Acest lucru demonstrează justetea ipotezei de studiu a prezentei teze de doctorat, cercetările putând fi aprofundate prin studii ulterioare.

## REFERINȚE BIBLIOGRAFIE (SELECTIV)

**Zarb GA, Schmitt A:** *The longitudinal clinical effectiveness of osseointegrated dental implants: the Toronto study. Part I: Surgical aspects.* J Prosthet. Dent. 63:451- 45, 1990

**van Steenberghe D, Quirynen M, Calberson L, Demand MA:** *Prospective evaluation of the fate of 697 consecutive intraoral fixtures ad modum Branemark in the rehabilitation of edentulism.* J Head Neck Pathol, 6:53-58, 1987

**Branemark P-I (eds).** *Advanced Osseointegration Surgery: Maxillofacial Applications.* Chicago:Quintessence: 327-335, 1992

**Petrikowski CG, Pharoah MJ, Schmitt A:** *Presurgical radiographic assessment for implants.*J Prosthet Dent., 61:59-64, 1989

**Pharoah MJ:** *Imaging techniques and their clinical significance.* Int Jprosthodont:176-179, 1993

**Jacobs R, Adriansens A, Naert I, Quirynen M, Hermmans R, van Steenberghe D:** *Predicability of reformatted computer tomography for pre-operative planning of endosseous implants.* Dentomax Radiol, 28: 37 - 41, 1999

**Ekkestubbe A, Grondahl K, and Grondahl HG:** *The use of tomography for dental implant planning.* Dentomaxillofac. Radiol. , 26:206-213, 1997

**van Steenberghe D, et al.:** *The applicability of osseointegrated oral implants in the rehabilitation of partial edentulism: A prospective multicenter study on 558 fixtures.* Int J Oral Maxillofac Implants, 5:272-280, 1990

**Smedberg J-L, Lothigius E, Bodin I, Frykholm A, Nilner K:** *A clinical and radiological two-year follow-up study of maxillary overdentures on osseointegrated implants.* Clin Oral Implants Res. 4:39-46, 1993

**Scheller H, PI Urgell J, Kultje C, Klinberg I, Goldberg PV, Stevenson-More S, Navarro M, Alonso J, Schaller M, Martinez Corria R, Engquist B, Toreskog S,**

**Kastenbaum F, Smith C:** *A 5-year multicenter study on implant-supported single crown restoration*, Int J Oral Maxillofac. 13: 212 - 218,1998

**Schwarz MS, Rothman SLG, Rhodes ML, Chafez N:** *Computed tomography Part I. Preoperative assessment of the maxilla for endosseous implants*. Int.J Oral Maxillofac Implants. 2: 137-141,1987

**Ekesstube A, Grondahl H:** *Reliability of spiral tomography with Scanora technique for implant site Assessment*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 70: 674-678, 1993

**Jemt T:** *Failures and complications in 391 consecutively inserted fixed prostheses supported by Branemark implants in edentulous jaws: a study of treatment from the time of prostheses placement to the first annual check up*. In J Oral Maxil Implants. 6:272-275. 1991

**Mondelli J, et al.:** *Odontoiatria Restaurativa*, Padua, Italy: Piccin Nuova Libreria,; 319- 411, 1989

**Georgescu CE, Mihai A:** *Tomografial volumetric computerizat* .MedicDentist. ro. 1 (1):26-31, 2005

**Wandre RH, Weber RL:** *Future trends in dental radiology*, Oral Surg, 80:471-478, 1995

**Littleton JT:** Section 17: *Tomography: Physical principles and clinical applications*. In: *Goldens Diagnostic Radiology*. Baltimore:Williams& Wilkins,1976

**Sakabe J, Kuroki Y, Fujimaki S, Nakajima I, Honda K:** *Reproducibility and accuracy of measuring unerupted teeth using limited cone beam X-ray CT*. Dentomaxillofac. Radiol. 36 (1):2-6, 2007

**Honda K, Arai Y, Kashima M, Takano Y, Sawada K, Ejima K, Iwai K:** *Evaluation of the usefulness of the limited cone-beam CT (3DX) in the assessment of the thickness of the roof of the glenoid fossa of the temporomandibular joint*. Dentomaxillofac. Radiol. 33:391-395, 2004

**Schulze J, Blessmann M, Pohlenz P, Wagner KW, Heiland M:** *Diagnostic criteria for the detection of mandibular osteomyelitis using cone-beam computed tomography*. Dentomaxillofac. Radiol. 35:232-235, 2006

**Clarck DE, Danforth RA, Barnes RW et al:** *Radiation absorbed from dental implant radiography: a comparison of linear tomography, CT scan and panoramic and intra-oral techniques*, J Oral Implantol 3:156-164,1990

**Tsiklakis K, Syriopoulos K, Stamatakis HC:** *Radiographic examination of the temporomandibular joint using cone beam computed tomography.* Dentomaxillofac. Radiol. 33:196-201, 2004

**Honda K, Larheim TA, Maruhashi K, Matsumoto K, and Iwai K:** *Osseous abnormalities of the mandibular condyle: diagnostic reliability of cone beam computed tomography compared with helical computed tomography based on an autopsy material.* Dentomaxillofac. Radiol. 35:152-157, 2006

**Honda K, Matumoto K, Kashima M, Takano Y, Kawashima S, Arai Y:** *Single air contrast arthrography for temporomandibular joint disorder using limited cone beam computed tomography for dental use.* Dentomaxillofac. Radiol. 33:271-273, 2004

**Rouas P, Delbos Y, Nancy J:** *Pseudo multiple and enlarged mandibular canals: the evidence-based response of cone beam computed tomography.* Dentomaxillofac. Radiol. 35:217-218, 2006

**Lindhe C:** *Radiography of the mandible for endosseous implant techniques,* Swed Dent J 112:1-45, 1996

**Marmulla R, Wörtche R, Mühling J, Hassfeld S:** *Geometric accuracy of the NewTom 9000 Cone Beam CT.* Dentomaxillofac. Radiol. 34:28-31, 2005

**Dolga V:** *Senzori și traductoare,* Editura Eurobit, ISBN 973-99-227-9-1, Timișoara, 1999

**Ionescu R D:** *Semenciuc, Roboti Industriali,* ISBN972-9187-24-2,1996

**Schug T, Dumbach J :** *Zementierter, implantatgetrangener -Zahnersatz im zahnlosen Oberkiefer auf individualisierten Titandistanzhülsen,* Dent Implantol 4, 8-16, 2000