

**UNIVERSITATEA DE MEDICINĂ ȘI FARMACIE
„VICTOR BABEȘ” DIN TIMIȘOARA
FACULTATEA DE MEDICINĂ
DEPARTAMENTUL ȘTIINȚE FUNCȚIONALE**

TUCE ROBERT-ANGELO



REZUMAT

**STUDIUL CREȘTERII TEMPERATURII INTRAOSOASE ÎN
TIMPUL UTILIZĂRII DIFERITELOR TIPURI DE GHIDURI
CHIRURGICALE ÎN IMPLANTOLOGIA ORALĂ**

Coordonator științific:

PROF. DR. NEAGU ADRIAN

Timișoara

2026

I. CONTEXTUL ȘI OBIECTIVELE CERCETĂRII

Implantologia orală reprezintă, în prezent, una dintre cele mai dinamice și inovatoare ramuri ale medicinei dentare, oferind soluții terapeutice predictibile pentru reabilitarea funcțională și estetică a pacienților edentați parțial sau total. Progresele tehnologice din ultimele decenii, în special în domeniul imagisticii tridimensionale, al planificării digitale și al fabricării aditive, au condus la o creștere semnificativă a preciziei actului chirurgical și la îmbunătățirea ratelor de succes pe termen lung ale implanturilor dentare. Cu toate acestea, succesul implantologic rămâne condiționat de respectarea strictă a principiilor biologice fundamentale, dintre care menținerea viabilității osoase în timpul preparării patului implantar ocupă un loc central.

Unul dintre factorii critici care influențează osteointegrarea implanturilor dentare este temperatura intraosoasă generată în timpul osteotomiei. Procesul de foraj chirurgical determină apariția căldurii ca rezultat al frecării dintre freză și țesutul osos, precum și al deformării plastice locale a osului. Literatura de specialitate a demonstrat în mod constant că depășirea unui prag critic de temperatură, în special creșteri de peste 10°C față de temperatura bazală sau atingerea valorii de aproximativ 47°C pentru perioade chiar și relativ scurte, poate conduce la osteonecroză, compromiterea microcirculației locale și, în final, la eșecul procesului de osteointegrare.

În practica clinică actuală, controlul temperaturii intraosoase se realizează preponderent prin utilizarea irigării externe cu soluție salină, ajustarea vitezei de rotație a frezelor, aplicarea unei forțe axiale controlate și utilizarea de freze ascuțite, bine întreținute. Totuși, aceste măsuri devin parțial ineficiente în contextul chirurgiei implantare ghidate, unde ghidurile chirurgicale, deși esențiale pentru acuratețea poziționării implanturilor, pot limita accesul direct al agentului de răcire la locul osteotomiei.

Utilizarea ghidurilor chirurgicale a cunoscut o expansiune semnificativă, datorită avantajelor incontestabile legate de reproducerea fidelă a planificării virtuale, reducerea erorilor operatorii și posibilitatea realizării unor intervenții minim invazive, inclusiv prin tehnici flapless. Cu toate acestea, designul clasic al ghidurilor chirurgicale, caracterizat prin manșoane cilindrice închise, poate devia jetul de irigare și poate crea un microclimat local favorabil acumulării de căldură. Această limitare a generat o preocupare legitimă privind siguranța biologică a osteotomiilor ghidate, în special în situații clinice complexe, care implică os dens, foraje secvențiale sau implanturi angulate.

Ca răspuns la aceste provocări, în literatura de specialitate au fost propuse diverse soluții constructive menite să îmbunătățească eficiența răcirii în timpul osteotomiei ghidate, incluzând

manșoane deschise, ferestre laterale sau cămăși poroase. Dintre acestea, ghidurile chirurgicale prevăzute cu canale interne de irigare reprezintă o direcție inovatoare, cu potențial semnificativ de a optimiza controlul temperaturii intraosoase, prin direcționarea precisă a fluxului de lichid de răcire către zona activă a frezei.

Motivația prezentei teze derivă din necesitatea de a evalua în mod riguros, obiectiv și cuantificabil impactul designului ghidurilor chirurgicale asupra generării de căldură în timpul osteotomiei implantare. Deși studiile existente sugerează un avantaj al sistemelor de răcire internă, datele disponibile sunt eterogene, iar comparațiile directe între diferite tipuri de ghiduri, realizate în condiții experimentale standardizate, rămân limitate. În plus, aplicabilitatea clinică a acestor soluții inovatoare, în special în reabilitările complexe de tip All-on-4, necesită validare suplimentară.

În acest context, teza de față își propune să contribuie la aprofundarea cunoștințelor privind termodinamica osteotomiei ghidate și să ofere o bază științifică solidă pentru integrarea ghidurilor chirurgicale cu răcire internă în practica implantologică modernă, atât din perspectivă experimentală, cât și clinică.

II. SCOPUL ȘI OBIECTIVELE TEZEI

În contextul dezvoltării accelerate a implantologiei orale ghidate și al preocupărilor crescânde privind siguranța biologică a procedurilor chirurgicale asistate digital, scopul general al prezentei teze este reprezentat de analiza și optimizarea controlului temperaturii intraosoase în timpul osteotomiei implantare realizate cu ghiduri chirurgicale, prin evaluarea comparativă a diferitelor soluții constructive și prin validarea unor designuri inovatoare cu răcire internă.

Teza pornește de la premisa că, deși ghidurile chirurgicale contribuie semnificativ la creșterea acurateții poziționării implanturilor dentare, designul lor clasic poate limita eficiența irigării externe și, implicit, poate favoriza creșteri termice locale cu potențial nociv asupra țesutului osos. În acest sens, cercetarea își propune să demonstreze că integrarea unor canale interne de irigare în structura ghidurilor chirurgicale reprezintă o soluție viabilă și eficientă pentru reducerea riscului de supraîncălzire intraosoasă, fără a compromite precizia chirurgicală.

2.1 Obiectivul general al cercetării

Obiectivul general al cercetării îl constituie evaluarea influenței designului ghidurilor chirurgicale asupra generării de căldură în timpul osteotomiei implantare, prin studii experimentale și clinice, cu accent pe comparația dintre ghidurile chirurgicale clasice și cele prevăzute cu sisteme de răcire

internă, în vederea îmbunătățirii siguranței biologice și a predictibilității procedurilor clinice de implantologie orală.

2.2 Obiectivele specifice ale cercetării

Pentru atingerea obiectivului general, teza a fost structurată în jurul următoarelor obiective specifice:

1. **Proiectarea și realizarea unor ghiduri chirurgicale inovatoare**, prevăzute cu canal intern de irigare, utilizând tehnici moderne de planificare digitală și fabricație aditivă, adaptate cerințelor implantologiei ghidate contemporane.
2. **Evaluarea experimentală a creșterii temperaturii intraosoase** generate în timpul osteotomiei implantare realizate cu diferite tipuri de ghiduri chirurgicale (ghiduri clasice, ghiduri cu manșon deschis și ghiduri cu răcire internă), în condiții controlate și reproductibile.
3. **Compararea eficienței sistemelor de răcire** prin analiza diferențelor de temperatură înregistrate în proximitatea locului de osteotomie, utilizând metode standardizate de măsurare, precum termocuplele și analiza statistică a variațiilor termice.
4. **Investigarea distribuției și dinamicii câmpului termic** asociat osteotomiei ghidate, prin utilizarea termoviziunii în infraroșu, ca metodă complementară de evaluare a eficienței răcirii și de identificare a zonelor cu potențial risc termic crescut.
5. **Analiza comportamentului termodinamic al osteotomiilor multiple** realizate în cadrul protocolului All-on-4, pe modele de os standardizat, pentru a evalua impactul cumulativ al forajelor secvențiale asupra temperaturii intraosoase.
6. **Validarea clinică a ghidurilor chirurgicale cu răcire internă**, prin aplicarea acestora într-un studiu de caz de reabilitare orală completă de tip All-on-4, cu evaluarea rezultatelor chirurgicale, biologice și protetice.
7. **Formularea unor concluzii și recomandări practice**, bazate pe datele obținute, privind utilizarea ghidurilor chirurgicale cu sisteme de răcire internă în implantologia orală ghidată, cu scopul reducerii riscurilor biologice și creșterii predictibilității tratamentului.

Prin atingerea acestor obiective, teza își propune să contribuie la fundamentarea științifică a unei abordări integrate, care să îmbine precizia digitală a chirurgiei ghidate cu respectarea riguroasă a principiilor biologice ale osteointegrării, oferind astfel un cadru solid pentru optimizarea procedurilor implantologice moderne.

III. MATERIALE ȘI METODĂ

Pentru atingerea obiectivelor propuse, cercetarea a fost concepută ca un demers complex, etapizat, care a integrat studii experimentale in vitro, evaluări termodinamice avansate și aplicații clinice, toate realizate în condiții standardizate și reproductibile. Metodologia adoptată a fost adaptată specificului fiecărui studiu inclus în partea specială a tezei, menținând însă o abordare

unitară în ceea ce privește parametrii de foraj, condițiile de irigare și metodele de evaluare a temperaturii intraosoase.

3.1 Proiectarea și realizarea ghidurilor chirurgicale

Ghidurile chirurgicale utilizate în cadrul studiilor experimentale și clinice au fost proiectate digital, pe baza imaginilor obținute prin tomografie computerizată cu fascicul conic (CBCT), utilizând software-uri dedicate de planificare implantologică. Au fost concepute și analizate mai multe tipuri de ghiduri chirurgicale, incluzând:

- a) **ghiduri chirurgicale clasice**, prevăzute cu manșon cilindric închis;
- b) **ghiduri cu manșon deschis**, menite să permită un acces parțial îmbunătățit al irigării externe;
- c) **ghiduri chirurgicale inovatoare, prevăzute cu canal intern de irigare** pentru a direcționa fluxul de soluție salină către zona activă a frezei.

Fabricarea ghidurilor a fost realizată prin tehnici de imprimare 3D, utilizând materiale biocompatibile, respectiv pulbere de titan sau rășini certificate pentru uz medical, în funcție de scopul experimental sau clinic al fiecărui studiu. Designul ghidurilor cu răcire internă a fost optimizat astfel încât să asigure atât stabilitatea mecanică și precizia ghidării, cât și eficiența transportului fluidului de răcire.

3.2 Modele experimentale și condiții de testare

Pentru evaluarea creșterii temperaturii intraosoase au fost utilizate modele experimentale diferite, în funcție de obiectivele fiecărui studiu. Studiile preliminare au fost realizate pe piese osoase de origine animală, care prezintă caracteristici structurale comparabile cu osul uman, în timp ce studiile avansate au fost efectuate pe modele de os artificial standardizat, cu densitate controlată, concepute pentru a simula osul alveolar uman.

Osteotomiile au fost realizate utilizând un protocol standardizat de foraj secvențial, cu freze de diametre progresive, la o viteză de rotație constantă și sub aplicarea unei forțe axiale controlate. Irigarea a fost efectuată cu soluție salină la temperatură ambientală, fie prin irigare externă convențională, fie prin intermediul canalelor interne integrate în ghidurile chirurgicale, în funcție de tipul de ghid utilizat.

3.3 Metode de măsurare a temperaturii intraosoase

Evaluarea temperaturii intraosoase a fost realizată prin metode complementare, pentru a obține o imagine cât mai fidelă a fenomenelor termodinamice asociate osteotomiei implantare. În studiile experimentale, măsurătorile punctuale ale temperaturii au fost efectuate cu

ajutorul termocuplelor, poziționate la distanțe standardizate față de marginea osteotomiei, permițând înregistrarea variațiilor termice locale în timp real.

În alt studiu, a fost utilizată termoviziunea în infraroșu, care a permis evaluarea non-contact a câmpului termic generat în timpul forajului. Această metodă a oferit informații suplimentare privind dinamica temperaturii la suprafața osului și la nivelul frezei, facilitând compararea eficienței diferitelor tipuri de ghiduri chirurgicale.

3.4 Analiza statistică

Datele obținute au fost supuse unei analize statistice riguroase, utilizând teste adecvate pentru compararea mediilor și evaluarea variabilității rezultatelor. Analiza varianței și testele de comparație pereche au fost aplicate pentru a identifica diferențe semnificative între tipurile de ghiduri chirurgicale, iar metoda Bland–Altman a fost utilizată pentru evaluarea concordanței și a diferențelor individuale dintre metodele comparate. Nivelul de semnificație statistică a fost stabilit conform standardelor uzuale din cercetarea biomedicală.

Prin această abordare metodologică integrată, teza a urmărit să ofere rezultate robuste, reproductibile și relevante clinic, capabile să susțină concluzii valide privind impactul designului ghidurilor chirurgicale asupra controlului temperaturii intraosoase în implantologia orală ghidată.

IV. REZULTATELE PRINCIPALE ALE CERCETĂRII

Rezultatele obținute în cadrul prezentei teze evidențiază în mod consecvent influența semnificativă a designului ghidurilor chirurgicale asupra generării și controlului temperaturii intraosoase în timpul osteotomiei implantare. Analiza comparativă a diferitelor tipuri de ghiduri a demonstrat că soluțiile constructive care permit sau facilitează accesul eficient al agentului de răcire la zona activă a frezei conduc la reduceri semnificative ale creșterii termice locale, comparativ cu ghidurile chirurgicale clasice.

4.1 Rezultatele studiului privind proiectarea și evaluarea ghidurilor cu canal intern de irigare

În cadrul primului studiu experimental, au fost comparate ghidurile chirurgicale clasice, ghidurile cu manșon deschis și ghidurile prevăzute cu canal intern de irigare, utilizând un model osos de origine animală. Rezultatele au arătat că toate tipurile de ghiduri testate au permis realizarea osteotomiilor în condiții de siguranță biologică, însă diferențele dintre ele au devenit evidente în ceea ce privește amplitudinea și variabilitatea creșterilor de temperatură înregistrate.

Ghidurile chirurgicale cu canal intern de irigare au determinat cele mai reduse creșteri medii ale temperaturii intraosoase, precum și cea mai mică dispersie a valorilor măsurate. Acest aspect sugerează nu doar o eficiență superioară a răcirii, ci și un control mai predictibil al mediului termic local. Comparativ, ghidurile clasice au prezentat valori mai ridicate ale temperaturii și o variabilitate crescută, indicând o dependență mai mare de factori operatori și de condițiile locale de irigare.

4.2 Rezultatele studiului privind osteotomiile pentru sistemul All-on-4 pe modele standardizate

Cel de-al doilea studiu a analizat generarea de căldură în contextul osteotomiilor multiple, realizate conform protocolului All-on-4, utilizând modele de os artificial standardizat, cu densitate controlată. Această abordare a permis eliminarea variabilității biologice și evaluarea strictă a impactului designului ghidurilor chirurgicale asupra temperaturii intraosoase.

Rezultatele au evidențiat diferențe semnificative între ghidurile chirurgicale clasice și cele cu răcire internă, în special în etapele inițiale ale forajului, asociate utilizării frezelor de diametru redus. În cazul ghidurilor clasice, s-au înregistrat creșteri de temperatură care, în anumite situații, au depășit pragul critic considerat sigur pentru viabilitatea osoasă. În schimb, utilizarea ghidurilor cu canal intern de irigare a redus semnificativ atât valorile medii ale temperaturii, cât și frecvența depășirii pragurilor critice.

Analiza statistică a confirmat semnificația diferențelor observate între cele două tipuri de ghiduri, demonstrând că răcirea internă integrată reprezintă un factor determinant în limitarea riscului de supraîncălzire intraosoasă în procedurile implantare complexe, care implică foraje secvențiale și osteotomii multiple.

4.3 Rezultatele studiului de evaluare prin termoviziune

Studiul bazat pe termoviziune a oferit o perspectivă suplimentară asupra distribuției spațiale și dinamicii câmpului termic asociat osteotomiei implantare. Utilizarea imaginilor în infraroșu a permis identificarea zonelor cu acumulare maximă de căldură și compararea eficienței diferitelor tipuri de ghiduri chirurgicale în timp real.

Rezultatele au arătat că, în cazul ghidurilor chirurgicale clasice, zonele de temperatură maximă au fost mai extinse și mai intens marcate, atât la nivelul osului, cât și la nivelul frezei, imediat după retragerea acesteia din osteotomie. În contrast, ghidurile cu canal intern de irigare au determinat o disipare mai rapidă a căldurii și o limitare clară a ariilor cu temperaturi crescute.

Aceste observații au fost susținute de analiza cantitativă a imaginilor termografice, care a confirmat reduceri semnificative ale valorilor maxime de temperatură înregistrate în prezența răcirii interne. Metoda termoviziunii s-a dovedit astfel un instrument valoros pentru evaluarea eficienței sistemelor de răcire și pentru completarea datelor obținute prin măsurători punctuale cu termocuple.

4.4 Rezultatele studiului de caz clinic All-on-4

Aplicabilitatea clinică a ghidurilor chirurgicale cu răcire internă a fost evaluată printr-un studiu de caz de reabilitare orală completă utilizând protocolul All-on-4. Intervenția a fost realizată în regim de chirurgie ghidată, cu utilizarea unor ghiduri personalizate, prevăzute cu canale interne de irigare.

Procedura chirurgicală s-a desfășurat fără incidente intraoperatorii, iar osteotomiile au fost realizate în condiții de control termic adecvat. Toate implanturile inserate au prezentat stabilitate primară corespunzătoare, iar vindecarea postoperatorie a fost favorabilă, fără semne clinice sau radiologice sugestive pentru afectare osoasă termică.

Rezultatele clinice obținute confirmă datele experimentale și susțin ideea că integrarea sistemelor de răcire internă în ghidurile chirurgicale nu doar că este fezabilă din punct de vedere tehnic, ci aduce beneficii reale în practica implantologică, în special în cazurile complexe care necesită un grad ridicat de precizie și siguranță biologică.

V. CONCLUZII GENERALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

Rezultatele obținute în cadrul prezentei teze demonstrează în mod clar că designul ghidurilor chirurgicale utilizate în implantologia orală ghidată influențează semnificativ comportamentul termic al osului în timpul osteotomiei. Deși ghidurile chirurgicale clasice oferă avantaje incontestabile în ceea ce privește acuratețea poziționării implanturilor, acestea pot limita eficiența irigării externe și pot favoriza apariția unor creșteri de temperatură intraosoasă cu potențial biologic nefavorabil.

Studiile experimentale realizate au evidențiat faptul că integrarea unui canal intern de irigare în structura ghidurilor chirurgicale conduce la o reducere semnificativă a creșterilor de temperatură, atât în termeni de valori medii, cât și în ceea ce privește variabilitatea rezultatelor. Această constatare este deosebit de relevantă în contextul osteotomiilor secvențiale și al procedurilor implantare complexe, unde riscul cumulativ de supraîncălzire a osului din vecinătatea zonei de foraj este crescut.

Analiza comparativă a diferitelor tipuri de ghiduri chirurgicale a arătat că ghidurile cu răcire internă asigură nu doar o disipare mai eficientă a căldurii, ci și un control mai predictibil al câmpului termic intraosos, reducând dependența de factori operatori și de variațiile condițiilor locale. Rezultatele obținute prin termoviziune au completat și consolidat datele furnizate de măsurătorile punctuale cu termocuple, oferind o perspectivă integrată asupra distribuției spațiale și temporale a temperaturii în timpul osteotomiei implantare.

Validarea clinică a ghidurilor chirurgicale cu canal intern de irigare, realizată prin studiul de caz de reabilitare orală completă utilizând protocolul All-on-4, confirmă aplicabilitatea practică a soluțiilor testate in vitro pe modele de os alveolar. Intervenția s-a desfășurat în condiții de siguranță biologică, cu rezultate chirurgicale și protetice favorabile, demonstrând că optimizarea controlului termic poate fi integrată eficient în fluxul clinic digital, fără a compromite acuratețea de inserare a implanturilor dentare sau ergonomia procedurii clinice.

Contribuții personale

Principalele contribuții personale aduse prin această teză pot fi sintetizate astfel:

1. proiectarea și dezvoltarea unor ghiduri chirurgicale inovatoare cu canal intern de irigare, adaptate cerințelor implantologiei ghidate moderne;
2. realizarea unor studii experimentale comparative riguroase, care evaluează impactul diferitelor tipuri de ghiduri asupra generării de căldură în timpul osteotomiei;
3. integrarea termoviziunii în infraroșu ca metodă complementară de evaluare a eficienței răcirii, oferind informații relevante privind distribuția câmpului termic;
4. analiza comportamentului termic al osteotomiilor multiple în cadrul protocolului All-on-4, pe modele de os standardizat;
5. demonstrarea fezabilității clinice a ghidurilor chirurgicale cu răcire internă într-un caz de reabilitare orală completă;
6. formularea unor recomandări practice privind utilizarea ghidurilor chirurgicale cu sisteme de răcire integrată pentru creșterea siguranței biologice și a predictibilității tratamentului implantologic.

În ansamblu, teza contribuie la consolidarea unei abordări interdisciplinare, care îmbină chirurgia ghidată, ingineria designului de dispozitive medicale și evaluarea efectelor termice ale osteotomiei, oferind o bază științifică solidă pentru optimizarea procedurilor de implantologie orală prin soluții inovatoare.

VI. PUBLICAȚII ȘTIINȚIFICE

1. Tuce R-A, Neagu M, Pupăzan V, Neagu A, Arjoca S. The 3D Printing and Evaluation of Surgical Guides with an Incorporated Irrigation Channel for Dental Implant Placement. *Bioengineering*. 2023; 10(10):1168, <https://doi.org/10.3390/bioengineering10101168>.
2. Tuce R-A, Neagu M, Pupăzan V, Neagu A, Arjoca S. Heat Generation during Dental Implant Bed Preparation Using Surgical Guides with and without Internal Irrigation Channels Evaluated on Standardized Models of the Alveolar Bone. *Applied Sciences*. 2024;14(17):8051, <https://doi.org/10.3390/app14178051>.
3. Tuce R-A, Pupăzan V, Neagu M, Arjoca S, Neagu A. The Use of Thermal Imaging to Assess Heat Generation during Dental Implant Bed Preparation in the Presence of a Surgical Guide with an Incorporated Coolant Channel. *Journal of Prosthodontics* 2026; <https://doi.org/10.1111/jopr.70078>.
4. Tuce R-A, Neagu M, Pupăzan V, Neagu A, Arjoca S. Full-Arch Oral Rehabilitation in All-on-4 “M” Configuration using Surgical Guides with Internal Cooling: A Clinical Case Report, *Journal of Clinical Medicine* 2026;15(3):1070, <https://doi.org/10.3390/jcm15031070>.

**"VICTOR BABEȘ" UNIVERSITY
OF MEDICINE AND PHARMACY OF TIMIȘOARA
FACULTY OF MEDICINE
DEPARTMENT OF FUNCTIONAL SCIENCES**

TUCE ROBERT-ANGELO



ABSTRACT

**STUDY OF INTRAOSSEOUS TEMPERATURE INCREASE
DURING THE USE OF DIFFERENT TYPES OF SURGICAL
GUIDES IN ORAL IMPLANTOLOGY**

Scientific coordinator:

PROF. DR. NEAGU ADRIAN

Timișoara

2026

I. RESEARCH CONTEXT AND OBJECTIVES

Oral implantology currently represents one of the most dynamic and innovative fields of dental medicine, offering predictable therapeutic solutions for the functional and esthetic rehabilitation of partially or totally edentulous patients. Technological advances over recent decades—particularly in three-dimensional imaging, digital planning, and additive manufacturing—have led to a substantial increase in surgical accuracy and to improved long-term success rates of dental implants. Nevertheless, implant success remains fundamentally dependent on strict adherence to core biological principles, among which the preservation of bone viability during implant bed preparation occupies a central role.

One of the critical factors influencing dental implant osseointegration is the intraosseous temperature generated during osteotomy. Surgical drilling inevitably produces heat as a result of friction between the drill and bone tissue, as well as local plastic deformation of the bone. The scientific literature has consistently demonstrated that exceeding critical temperature thresholds—particularly increases greater than 10 °C above baseline temperature or reaching approximately 47 °C even for relatively short periods—may lead to osteonecrosis, impairment of local microcirculation, and ultimately failure of the osseointegration process.

In current clinical practice, intraosseous temperature control is achieved primarily through external irrigation with saline solution, adjustment of drilling speed, application of controlled axial force, and the use of sharp, well-maintained drills. However, these measures become partially ineffective in the context of guided implant surgery, where surgical guides, although essential for accurate implant positioning, may limit the direct access of the cooling agent to the osteotomy site.

The use of surgical guides has expanded significantly due to their undeniable advantages, including faithful reproduction of virtual planning, reduction of operator-related errors, and the possibility of performing minimally invasive procedures, including flapless techniques. Nevertheless, the classical design of surgical guides—characterized by closed cylindrical sleeves—may deflect the irrigation jet and create a local microenvironment conducive to heat accumulation. This limitation has raised legitimate concerns regarding the biological safety of guided osteotomies, particularly in complex clinical situations involving dense bone, sequential drilling protocols, or angulated implant placement.

In response to these challenges, various design solutions aimed at improving cooling efficiency during guided osteotomy have been proposed in the literature, including open sleeves, lateral windows, and porous structures. Among these, surgical guides incorporating internal

irrigation channels represent an innovative approach with significant potential to optimize intraosseous temperature control by directing the cooling fluid precisely toward the active drilling zone.

The motivation for the present thesis arises from the need to rigorously, objectively, and quantitatively evaluate the impact of surgical guide design on heat generation during implant osteotomy. Although existing studies suggest a potential advantage of internal cooling systems, the available data remain heterogeneous, and direct comparisons between different guide designs under standardized experimental conditions are still limited. Moreover, the clinical applicability of these innovative solutions—particularly in complex rehabilitations such as the All-on-4 concept—requires further validation.

Within this framework, the present thesis aims to contribute to a deeper understanding of the thermodynamics of guided osteotomy and to provide a solid scientific basis for the integration of internally cooled surgical guides into modern implantological practice, from both experimental and clinical perspectives.

II. THE AIM AND OBJECTIVES OF THE THESIS

In the context of the accelerated development of guided oral implantology and the increasing concerns regarding the biological safety of digitally assisted surgical procedures, the general aim of the present thesis is to analyze and optimize intraosseous temperature control during implant osteotomy performed using surgical guides. This objective is pursued through a comparative evaluation of different constructive solutions and through the validation of innovative surgical guide designs incorporating internal cooling systems.

The thesis is based on the premise that, although surgical guides significantly enhance the accuracy of dental implant positioning, their classical design may limit the effectiveness of external irrigation and, consequently, may promote local thermal increases with potentially detrimental effects on bone tissue. In this respect, the research aims to demonstrate that the integration of internal irrigation channels into the structure of surgical guides represents a viable and effective solution for reducing the risk of intraosseous overheating, without compromising surgical precision.

2.1 General objective of the research

The general objective of the research is to evaluate the influence of surgical guide design on heat generation during implant osteotomy, through experimental and clinical investigations, with a

particular focus on comparing conventional surgical guides with those equipped with internal cooling systems, to enhance the biological safety and predictability of clinical procedures in oral implantology.

2.2 Specific objectives of the research

To achieve the general objective, the thesis was structured around the following specific objectives:

1. **Design and fabrication of innovative surgical guides** incorporating internal irrigation channels, using modern digital planning tools and additive manufacturing techniques, adapted to the requirements of contemporary guided implantology.
2. **Experimental evaluation of intraosseous temperature increase** generated during implant osteotomy performed with different types of surgical guides (conventional guides, open-sleeve guides, and internally cooled guides), under controlled and reproducible conditions.
3. **Comparison of cooling system efficiency** by analyzing temperature differences recorded in the vicinity of the osteotomy site, using standardized measurement methods such as thermocouples and statistical analysis of thermal variations.
4. **Investigation of the distribution and dynamics of the thermal field** associated with guided osteotomy using infrared thermography, as a complementary method for assessing cooling efficiency and identifying areas with increased thermal risk.
5. **Analysis of the thermodynamic behavior of multiple osteotomies** performed within the All-on-4 protocol on standardized bone models, to evaluate the cumulative impact of sequential drilling on intraosseous temperature.
6. **Clinical validation of internally cooled surgical guides** through their application in a full-arch oral rehabilitation case using the All-on-4 concept, with assessment of surgical, biological, and prosthetic outcomes.
7. **Formulation of conclusions and practical recommendations**, based on the obtained data, regarding the use of surgical guides with internal cooling systems in guided oral implantology, aimed at reducing biological risks and increasing treatment predictability.

By achieving these objectives, the thesis seeks to contribute to the scientific substantiation of an integrated approach that combines the digital precision of guided surgery with strict adherence to the biological principles of osseointegration, thereby providing a solid framework for the optimization of modern implant placement procedures.

III. MATERIALS AND METHODS

To achieve the proposed objectives, the research was designed as a complex, stepwise approach that integrated in vitro experimental studies, advanced thermodynamic assessments,

and clinical applications, all conducted under standardized and reproducible conditions. The adopted methodology was tailored to the specific characteristics of each study included in the special part of the thesis, while maintaining a unified approach with respect to drilling parameters, irrigation conditions, and methods for intraosseous temperature evaluation.

3.1. Design and Fabrication of Surgical Guides

The surgical guides used in the experimental and clinical studies were digitally designed based on cone beam computed tomography (CBCT) images, using dedicated implant planning software. Several types of surgical guides were conceived and analyzed, including:

- a) **conventional surgical guides** featuring closed cylindrical sleeves;
- b) **open-sleeve surgical guides**, designed to allow partially improved access for external irrigation;
- c) **innovative surgical guides incorporating internal irrigation channels** to direct the saline flow toward the active zone of the drill.

The guides were fabricated using three-dimensional (3D) printing techniques and biocompatible materials, including titanium powder or medically certified resins, depending on the experimental or clinical purpose of each study. The design of the internally cooled guides was optimized to ensure both mechanical stability and guiding accuracy, as well as efficient delivery of the cooling fluid.

3.2. Experimental models and testing conditions

Different experimental models were employed to evaluate intraosseous temperature elevation, according to the objectives of each study. Preliminary investigations were conducted on bone specimens of animal origin, which exhibit structural characteristics comparable to human bone, whereas advanced studies were performed on standardized artificial bone models with controlled density, specifically designed to simulate human alveolar bone.

Osteotomies were performed using a standardized sequential drilling protocol with progressively increasing drill diameters, at a constant rotational speed and under controlled axial load. Irrigation was carried out using saline solution at room temperature, either through conventional external irrigation or via the internal channels integrated into the surgical guides, depending on the guide type under investigation.

3.3. Methods for intraosseous temperature measurement

Intraosseous temperature was assessed using complementary methods to obtain a comprehensive understanding of the thermodynamic phenomena associated with implant osteotomy. In the experimental studies, point temperature measurements were performed using thermocouples positioned at standardized distances from the osteotomy margin, allowing real-time recording of local thermal variations.

In a separate study, infrared thermography was employed as a non-contact method to evaluate the thermal field generated during drilling. This technique provided additional information regarding temperature dynamics at the bone surface and at the level of the drill, facilitating comparative assessment of the cooling efficiency of different surgical guide designs.

3.4. Statistical analysis

The collected data were subjected to rigorous statistical analysis using appropriate tests for comparison of means and assessment of result variability. Analysis of variance and paired comparison tests were applied to identify statistically significant differences between surgical guide types, while the Bland–Altman method was used to evaluate agreement and individual differences between the compared approaches. The level of statistical significance was established in accordance with commonly accepted standards in biomedical research.

Through this integrated methodological approach, the thesis aimed to generate robust, reproducible, and clinically relevant results, capable of supporting valid conclusions regarding the impact of surgical guide design on intraosseous temperature control in guided oral implantology.

IV. MAIN RESEARCH FINDINGS

The results obtained within the present thesis consistently highlight the significant influence of surgical guide design on the generation and control of intraosseous temperature during implant osteotomy. Comparative analysis of different guide types demonstrated that constructive solutions which allow or facilitate efficient access of the cooling agent to the active drilling zone lead to significant reductions in local thermal increase when compared with conventional surgical guides.

4.1. Results of the study on the design and evaluation of internally irrigated surgical guides

In the first experimental study, conventional surgical guides, open-sleeve guides, and guides incorporating internal irrigation channels were compared using an animal-derived bone model. The results showed that all tested guide types allowed osteotomies to be performed under

conditions compatible with biological safety; however, clear differences emerged with regard to the magnitude and variability of the recorded temperature increases.

Surgical guides with internal irrigation channels produced the lowest mean intraosseous temperature elevations, as well as the smallest dispersion of measured values. This finding suggests not only superior cooling efficiency, but also more predictable control of the local thermal environment. By comparison, conventional guides exhibited higher temperature values and increased variability, indicating a greater dependence on operator-related factors and local irrigation conditions.

4.2. Results of the study on All-on-4 osteotomies using standardized models

The second study analyzed heat generation in the context of multiple osteotomies performed according to the All-on-4 protocol, using standardized artificial bone models with controlled density. This approach enabled the elimination of biological variability and allowed strict evaluation of the impact of surgical guide design on intraosseous temperature.

The results revealed significant differences between conventional surgical guides and those with internal cooling, particularly during the initial drilling stages associated with smaller-diameter drills. In the case of conventional guides, temperature increases were recorded that, in certain situations, exceeded the critical threshold considered safe for bone viability. In contrast, the use of internally irrigated guides significantly reduced both mean temperature values and the frequency of exceeding critical thresholds.

Statistical analysis confirmed the significance of the observed differences between the two guide types, demonstrating that integrated internal cooling represents a key factor in limiting the risk of intraosseous overheating in complex implant procedures involving sequential drilling and multiple osteotomies.

4.3. Results of the Thermographic Evaluation Study

The thermography-based study provided additional insight into the spatial distribution and temporal dynamics of the thermal field associated with implant osteotomy. The use of infrared imaging enabled identification of areas with maximal heat accumulation and real-time comparison of the cooling efficiency of different surgical guide designs.

The results showed that, in the case of conventional surgical guides, zones of maximum temperature were more extensive and more pronounced, both at the bone level and at the drill level, immediately after drill withdrawal from the osteotomy site. In contrast, guides incorporating

internal irrigation channels resulted in more rapid heat dissipation and a clear limitation of areas exhibiting elevated temperatures.

These observations were supported by quantitative analysis of thermographic images, which confirmed significant reductions in maximum recorded temperature values in the presence of internal cooling. Infrared thermography thus proved to be a valuable tool for assessing cooling system efficiency and for complementing the data obtained through point measurements with thermocouples.

4.4. Results of the Clinical All-on-4 Case Study

The clinical applicability of internally cooled surgical guides was evaluated through a full-arch oral rehabilitation case performed using the All-on-4 protocol. The intervention was carried out under guided surgery conditions, employing customized surgical guides equipped with internal irrigation channels.

The surgical procedure was completed without intraoperative complications, and osteotomies were performed under adequate thermal control. All inserted implants achieved satisfactory primary stability, and postoperative healing was favorable, with no clinical or radiological signs suggestive of thermally induced bone damage.

The obtained clinical outcomes confirm the experimental findings and support the concept that integrating internal cooling systems into surgical guides is not only technically feasible but also provides tangible benefits in implantological practice, particularly in complex cases requiring a high degree of precision and biological safety.

V. GENERAL CONCLUSIONS AND PERSONAL CONTRIBUTIONS

The results obtained in the present thesis clearly demonstrate that the design of surgical guides used in guided oral implantology significantly influences the thermal behavior of bone during implant osteotomy. Although conventional surgical guides provide undeniable advantages in terms of implant positioning accuracy, they may limit the effectiveness of external irrigation and promote intraosseous temperature increases with potentially unfavorable biological effects.

The experimental studies conducted revealed that integrating an internal irrigation channel into the structure of surgical guides leads to a significant reduction in temperature elevation, both in terms of mean values and result variability. This finding is particularly relevant in the context of

sequential osteotomies and complex implant procedures, where the cumulative risk of bone overheating in the vicinity of the drilling zone is increased.

Comparative analysis of different surgical guide designs showed that internally cooled guides ensure not only more efficient heat dissipation, but also more predictable control of the local thermal environment, thereby reducing dependence on operator-related factors and variations in local conditions. The thermographic findings complemented and reinforced the data obtained through point temperature measurements using thermocouples, providing an integrated view of the spatial and temporal distribution of temperature during implant osteotomy.

Clinical validation of surgical guides with internal irrigation channels, achieved through a full-arch oral rehabilitation case using the All-on-4 protocol, confirmed the practical applicability of the investigated solutions. The intervention was performed under conditions of biological safety, with favorable surgical and prosthetic outcomes, demonstrating that optimization of thermal control can be effectively integrated into the digital clinical workflow without compromising procedural precision or ergonomics.

Personal Contributions

The main personal contributions of this thesis can be summarized as follows:

1. Design and development of innovative surgical guides incorporating internal irrigation channels, adapted to the requirements of modern guided implantology;
2. Conducting rigorous comparative experimental studies evaluating the impact of different surgical guide designs on heat generation during implant osteotomy;
3. Integration of infrared thermography as a complementary method for assessing cooling efficiency, providing relevant information on thermal field distribution;
4. Analysis of the thermal behavior of multiple osteotomies performed within the All-on-4 protocol on standardized bone models;
5. Demonstration of the clinical feasibility of internally cooled surgical guides in a full-arch oral rehabilitation case;
6. Formulation of practical recommendations regarding the use of surgical guides with integrated cooling systems to enhance biological safety and treatment predictability in implantology.

Overall, this thesis contributes to strengthening an interdisciplinary approach that combines guided surgery, medical device design engineering, and the evaluation of the osteotomy's thermal effects, providing a solid scientific foundation for the optimization of contemporary oral implantology procedures.

VI. SCIENTIFIC PUBLICATIONS

1. Tuce R-A, Neagu M, Pupăzan V, Neagu A, Arjoca S. The 3D Printing and Evaluation of Surgical Guides with an Incorporated Irrigation Channel for Dental Implant Placement. *Bioengineering* 2023; 10(10):1168, <https://doi.org/10.3390/bioengineering10101168>.
2. Tuce R-A, Neagu M, Pupăzan V, Neagu A, Arjoca S. Heat Generation during Dental Implant Bed Preparation Using Surgical Guides with and without Internal Irrigation Channels Evaluated on Standardized Models of the Alveolar Bone. *Applied Sciences* 2024; 14(17):8051, <https://doi.org/10.3390/app14178051>.
3. Tuce R-A, Pupăzan V, Neagu M, Arjoca S, Neagu A. The Use of Thermal Imaging to Assess Heat Generation during Dental Implant Bed Preparation in the Presence of a Surgical Guide with an Incorporated Coolant Channel. *Journal of Prosthodontics* 2026; <https://doi.org/10.1111/jopr.70078>.
4. Tuce R-A, Neagu M, Pupăzan V, Neagu A, Arjoca S. Full-Arch Oral Rehabilitation in All-on-4 “M” Configuration using Surgical Guides with Internal Cooling: A Clinical Case Report, *Journal of Clinical Medicine* 2026;15(3):1070, <https://doi.org/10.3390/jcm15031070>.