

UNIVERSITATEA DE MEDICINĂ ȘI FARMACIE  
„CAROL DAVILA”, BUCUREȘTI  
ȘCOALA DOCTORALĂ  
DOMENIUL MEDICINĂ DENTARĂ



*Materiale dentare imprimare tridimensional –  
proprietăți nano-mecanice și interacțiuni  
biochimice în mediul oral*

## REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

Conducător de doctorat:

**PROF. UNIV. DR. Marina IMRE**

Student-doctorand:  
**Veaceslav ȘARAMET**

2024

## Cuprins

Introducere.....	pagina 9
I. Stadiul actual al cunoașterii.....	pagina 11
<b>1. Capitol 1.</b> Interacțiuni moleculare între salivă și rășinile dentare .....	pagina 11
1.1. Introducere.....	pagina 11
1.2. Noi elemente din peisajul chimic al rășinilor moderne .....	pagina 12
1.3. Discuții și perspective.....	pagina 22
<b>2. Capitolul 2.</b> Compararea metodelor de obținere a dispozitivelor dentare: imprimare 3D, CAD/CAM și metode tradiționale .....	pagina 23
2.1. Introducere .....	pagina 23
2.2. Coroane provizorii din polimetimetacrilat .....	pagina 25
2.3. Ghiduri chirurgicale .....	pagina 27
2.4. Gutiere ortodontice și de bruxism.....	pagina 28
2.5. Proprietăți nano-mecanice – metoda de indentare la nivel nano-metric .....	pagina 29
2.6. Micro-porozitate .....	pagina 32
2.7. Compararea metodelor de fabricare .....	pagina 35
2.8. Discuții, sustenabilitate și perspective viitoare .....	pagina 37
II. Contribuții personale.....	pagina 41
<b>3. Capitolul 3.</b> Ipoteza de lucru și obiectivele generale.....	pagina 41
3.1. Ipoteza principală .....	pagina 41
3.2. Obiective generale .....	pagina 42
<b>4. Capitolul 4.</b> Metodologia generală a cercetării.....	pagina 43
4.1. Fabricația aditivă (Imprimarea 3D) .....	pagina 43
4.2. Metoda tradițională .....	pagina 44
4.3. Fabricația substractivă .....	pagina 45
4.4. Finisarea probelor .....	pagina 47
<b>5. Capitolul 5.</b> Studiul 1. Proprietățile nano-mecanice ale materialelor pe bază de rășină acrilică pentru restaurările dentare prelucrate prin frezare, imprimare 3D și metoda tradițională .....	pagina 49
5.1. Introducere - Ipoteza de lucru și obiective specifice .....	pagina 49
5.2. Materiale și metode.....	pagina 50

5.3. Rezultate.....	pagina 52
5.4. Discuții .....	pagina 60
5.5. Concluzii .....	pagina 61
<b>6. Capitolul 6. Studiul 2. Caracterizarea morfologică cantitativă a porozității din probe de rășină acrilică obținute prin imprimare 3D și frezare CAD/CAM utilizând micro-tomografia computerizată.....</b>	<b>pagina 63</b>
6.1. Introducere - Ipoteza de lucru și obiective specifice .....	pagina 63
6.2. Materiale și metodă.....	pagina 66
6.3. Rezultate.....	pagina 71
6.4. Discuții.....	pagina 76
6.5. Concluzii.....	pagina 77
<b>7. Capitolul 7. Studiul 3. Analiza comportamentului fibroblastelor gingivale în prezența rășinilor dentare pe bază de metacrilat produse prin imprimare 3D versus frezare—Avem un câștigător?.....</b>	<b>pagina 79</b>
7.1. Introducere - Ipoteza de lucru și obiective specifice .....	pagina 79
7.2. Materiale și metode.....	pagina 81
7.3. Rezultate.....	pagina 84
7.4. Discuții.....	pagina 92
7.5. Concluzii .....	pagina 98
<b>8. Capitolul 8. Concluzii și contribuții personale.....</b>	<b>pagina 100</b>
Bibliografie.....	pagina 103
Anexe.....	pagina 110

## **Contextul și importanța cercetării**

În ultimele decenii, tehnologia imprimării tridimensionale (3D) a revoluționat numeroase domenii, inclusiv medicina și stomatologia. În stomatologie, imprimarea 3D oferă soluții inovatoare pentru diverse aplicații, de la crearea modelelor dentare precise și personalizate până la realizarea de restaurări protetice (coroane, punți), fabricarea dispozitivelor ortodontice – gutiere, retenere, alinere, a ghidurilor chirurgicale și a gutierelor ocluzale rigide pentru relaxare musculară. Această tehnologie permite un nivel ridicat de precizie, reducerea timpului de tratament și costuri mai scăzute.

Tehnologia CAD/CAM (Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing) a fost introdusă în stomatologie în anii 1980 și a adus îmbunătățiri semnificative în proiectarea și fabricarea restaurărilor dentare. Aceasta a permis realizarea de coroane, punți și alte dispozitive protetice cu o precizie mare, prin procese subtractive care utilizează freze pentru a sculpta materialele din blocuri solide. CAD/CAM a devenit rapid o tehnologie consacrată în stomatologie, datorită capacității sale de a produce restaurări de înaltă calitate într-un timp relativ scurt.

În contrast, imprimarea 3D este o tehnologie relativ recentă, care a început să fie aplicată pe scară largă în stomatologie abia în ultimii ani. Spre deosebire de procesul subtractiv al CAD/CAM, imprimarea 3D este un proces aditiv, în care materialul este adăugat strat cu strat pentru a construi structuri complexe. Această metodă nu numai că reduce risipa de material, dar oferă și o flexibilitate mai mare în design, permițând crearea de forme și structuri care ar fi imposibile sau impracticabile cu tehnologiile tradiționale.

În stomatologia modernă, există o nevoie constantă de materiale dentare care să ofere performanțe superioare, biocompatibilitate și durabilitate în mediul oral. Rășinile acrilice, utilizate atât în imprimarea 3D, cât și în tehnologiile CAD/CAM și metodele clasice de obținere, reprezintă un punct focal important datorită proprietăților lor adecvate pentru aplicațiile dentare.

### **Relevanța materialelor dentare 3D în stomatologia modernă**

Materialele dentare utilizate în imprimarea 3D joacă un rol crucial în succesul aplicațiilor clinice. În mod specific, rășinile acrilice sunt printre cele mai utilizate materiale datorită proprietăților lor adecvate pentru uz dentar, cum ar fi biocompatibilitatea, ușurința de manipulare și costurile relativ scăzute. Aceste materiale sunt utilizate pentru o gamă largă de

aplicații, inclusiv gutiere, coroane provizorii și ghiduri chirurgicale, oferind soluții personalizate și precise pentru pacienți.

Un avantaj semnificativ al rășinilor acrilice imprimate 3D este posibilitatea de a crea structuri dentare complexe cu o precizie ridicată și într-un timp scurt. Aceasta nu numai că îmbunătățește eficiența clinică, dar și confortul și satisfacția pacienților.

Cu toate acestea, interacțiunile acestor materiale cu mediul oral, inclusiv cu saliva și microbiomul oral, reprezintă un domeniu de cercetare esențial pentru a asigura durabilitatea și siguranța acestora în timp. Mediul oral este complex și dinamic, conținând o varietate de substanțe chimice și microorganisme care pot afecta materialele dentare. Înțelegerea acestor interacțiuni este crucială pentru dezvoltarea de materiale dentare care nu doar că rezistă în timp, dar și mențin sănătatea orală a pacienților.

Această cercetare s-a concentrat pe evaluarea proprietăților nanomecanice (duritate, elasticitate și rigiditate), micro-porozitatea, biocompatibilitatea și interacțiunile biochimice ale rășinilor acrilice imprimate 3D în comparație cu materialele realizate prin tehnologia CAD/CAM și metodele clasice.

## **Ipoteza de lucru și obiective generale**

*Ipoteza de lucru* de la care a pornit prezenta cercetare a fost că rășinile acrilice imprimate tridimensional pentru aplicații dentare, inclusiv gutiere, coroane provizorii și ghiduri chirurgicale, prezintă proprietăți fizice, chimice și biologice comparabile sau superioare materialelor realizate prin tehnologia CAD/CAM și metoda clasică de obținere, demonstrând o biocompatibilitate ridicată și o durabilitate adecvată în mediul oral, în ciuda provocărilor prezentate de interacțiunile biochimice cu saliva și microbiomul oral.

*Obiectivele generale* identificate din ipoteza de lucru a tezei au fost:

1. Caracterizarea proprietăților nanomecanice ale rășinilor acrilice imprimate 3D: măsurarea și compararea proprietăților nanomecanice (duritate, elasticitate și rigiditate) ale rășinilor acrilice imprimate tridimensional cu cele obținute prin tehnologia CAD/CAM și metoda clasică de obținere a dispozitivelor dentare.
2. Evaluarea porozității rășinilor acrilice imprimate 3D: analiza micro-CT a porozității rășinilor acrilice imprimate tridimensional în comparație cu materialele realizate prin tehnologia CAD/CAM și metoda clasică, prin studii *in vitro*.
3. Investigarea interacțiunilor biochimice în mediul oral: Studiarea interacțiunilor dintre rășinile acrilice imprimate 3D și componentele salivei artificial, pentru a evalua procesele de degradare și impactul acestora asupra performanței și durabilității materialelor.
4. Compararea performanței materialelor dentare imprimate 3D cu cele realizate prin tehnologia CAD/CAM și metoda clasică: Evaluarea și compararea interacțiunilor biochimice ale rășinilor acrilice imprimate tridimensional, CAD/CAM și clasice în aplicațiile dentare, inclusiv gutiere, coroane provizorii și ghiduri chirurgicale prin testarea *in vitro*.

## Metodologia generală a cercetării

Metodologia generală a presupus etapa de preparare a probelor, în care s-a luat în considerare indicațiile pentru utilizarea rășinii acrilice în diferite aplicații stomatologice, având în vedere metodele de prelucrare cum ar fi 3D print, CAD/CAM - PMMA frezat, și metoda tradițională:

1. *Coroane provizorii*: Utilizarea temporară în restaurările dentare pentru protecția și menținerea integrității structurii dentare până la finalizarea restaurării definitive, indiferent de metoda de prelucrare aleasă.
2. *Gutiere (de bruxism, ortodontice)*: Fabricate prin tehnologia CAD/CAM sau 3D printing pentru a proteja dinții împotriva efectelor nocive ale bruxismului sau în tratamentele ortodontice, asigurând o potrivire precisă și confortabilă.
3. *Ghid chirurgical*: Dizpozitiv fabricat prin tehnologia 3D sau CAD/CAM utilizat în etapa de inserare a implanturilor în structura osoasă a maxilarului.

Obținerea probelor prin *fabricația aditivă* (Imprimarea 3D)

În cadrul studiului nostru, probele discoidale au fost fabricate utilizând tehnica de procesare digitală a luminii (DLP) și rășină acrilică lichidă specifică pentru coroane provizorii și gutiere. Această metodă a permis obținerea unor probe cu caracteristici morfologice și structurale bine definite, esențiale pentru evaluările ulterioare.

Materiale și echipamente utilizate:

- rășină acrilică lichidă;
- imprimantă 3D DLP;
- platforma de construcție;
- echipamente de curățare;
- sistem de post-polimerizare.

Etapele de Tehnică Dentară

1. Pregătirea Modelului Digital
2. Imprimarea 3D
3. Îndepărtarea materialului în exces
4. Post-Polimerizarea

Obținerea probelor prin *metoda tradițională*.

În cadrul studiului nostru, am obținut probe discoidale utilizând metoda tradițională de laborator dentar. Probele au fost fabricate din rășină acrilică Superpont C+B, furnizată de Spofadent, având specificații dimensionale de  $12 \pm 2$  mm în diametru și  $3 \pm 1$  mm în grosime. Procesul de fabricare a implicat mai multe etape critice, fiecare contribuind la obținerea unor probe de înaltă calitate, esențiale pentru evaluările ulterioare.

Rășina acrilică utilizată Superpont C+B:

- Pulbere: Flacon de 100 g
- Lichid: Flacon de 250 ml

Ultima metodă de obținere a probelor a fost *fabricația subtractivă*.

Fabricația subtractivă este un proces de manufactură în care materialul este îndepărtat dintr-un bloc solid pentru a obține forma dorită a piesei finale. Aceasta este opusă fabricației aditive, unde materialul este adăugat strat cu strat pentru a crea un obiect. În contextul stomatologiei și al proteticii dentare, fabricația subtractivă este utilizată pentru a crea componente precise și personalizate, cum ar fi coroane, punți și discuri din materiale biocompatibile.

Probele au fost frezate din discuri prefabricate industrial HUGE PMMA BLOCK .

Procesul de fabricație a fost realizat utilizând mașina inovatoare CORiTEC 350i.

Proiectarea probelor discoidale a fost realizată folosind software-ul CAD (Computer-Aided Design) și CAM (Computer-Aided Manufacturing). Software-ul CAD permite crearea unui model digital precis al piesei dorite, în timp ce CAM traduce acest model într-un set de instrucțiuni pentru mașina de frezat. Discurile au fost proiectate cu un diametru de  $12 \pm 2$  mm și o grosime de  $3 \pm 1$  mm.



*Finisarea probelor* a fost o etapă importantă în procesul de fabricare a componentelor dentare, deoarece influențează semnificativ calitatea estetică și funcțională a acestora. Procedura descrisă implică mai multe etape de șlefuire și lustruire pentru a obține o suprafață de înaltă strălucire și netedă, esențială pentru confortul pacientului și durabilitatea componentelor.

### *1. Șlefuirea*

Material utilizat - șmirghel de corindon

Procedură: Discurile fabricate sunt inițial șlefuite folosind șmirghel de corindon pentru a îndepărta imperfecțiunile grosiere și pentru a netezi suprafața circulară. Această etapă pregătește suprafața pentru etapele ulterioare de lustruire.

### *2. Cauciucarea*

Se utilizează trei tipuri de polișere specifice pentru materialele acrilice, fiecare cu o granulație și duritate diferită, pentru a rafina suprafața și a pregăti materialul pentru lustruire.

- Primul pas - utilizarea unui polișer cu granulație grosieră pentru a îndepărta resturile mari și a netezi suprafața.

- Al doilea pas - polișer cu granulație medie pentru a rafina și mai mult suprafața.

- Al treilea pas - polișer fin pentru a oferi o netezime suplimentară și a pregăti suprafața pentru lustruirea finală.

### *3. Pre-lustruirea*

Material utilizat - perie sintetică și pulbere de ponce.

Procedură: Suprafața discurilor este pre-lustruită folosind o perie sintetică în combinație cu pulbere de ponce

### *4. Lustruirea Finală*

Produse utilizate: pastă de lustruire Abraso Star Glaze și disc fin de bumbac Polirapid

Procedură: Discurile sunt lustruite până la un luciu înalt utilizând pasta de lustruire Abraso Star Glaze. Discul fin de bumbac Polirapid este folosit pentru aplicarea pastei și asigură o distribuție uniformă și o lustruire eficientă a suprafeței.

După lustruire, discurile sunt curățate folosind un jet de abur pentru a îndepărta orice reziduuri de pastă de lustruire și alte impurități. Probele sunt apoi supuse unei băi cu ultrasunete, care asigură o curățare profundă prin utilizarea undelor sonore de înaltă frecvență pentru a disloca și îndepărta particulele fine de pe suprafața și din interiorul probelor.

## Sinteza capitolelor

Teza de doctorat conține o parte în care este descris stadiul actual al cunoașterii, *Capitolul 1 și 2*, și o parte în care sunt evidențiate contribuțiile personale, *Capitolele 3-8*.

În partea generală este discutat cadrul contextual și sunt descrise interacțiunile moleculare între salivă și rășinile dentare, dar se face și compararea metodelor de obținere a dispozitivelor dentare: imprimare 3D, CAD/CAM și metode tradiționale.

*Capitolul 1* explorează interacțiunile moleculare dintre salivă și rășinile dentare utilizate în stomatologie. Începe cu o introducere în contextul chimic complex al rășinilor moderne, discutând compoziția chimică a acestora și modul în care interacționează cu componentele salivei. Capitolul evidențiază elemente din peisajul chimic al rășinilor dentare, subliniind modificările recente în formularea acestor materiale pentru a îmbunătăți proprietățile lor de rezistență și biocompatibilitate. În partea finală, sunt prezentate perspectivele și direcțiile viitoare de cercetare, punând accent pe nevoia de a înțelege mai bine aceste interacțiuni pentru a optimiza performanța clinică a materialelor dentare.

*Capitolul 2* se concentrează pe compararea diferitelor metode de fabricare a dispozitivelor dentare, inclusiv imprimarea 3D, tehnologia CAD/CAM și metodele tradiționale. Capitolul începe cu o introducere generală despre aceste tehnici și domeniile lor de aplicare. Apoi, discută specific despre coroanele provizorii din polimetimetacrilat, ghidurile chirurgicale și gutierele ortodontice și de bruxism, subliniind avantajele și dezavantajele fiecărei metode. De asemenea, sunt aduși termeni introductivi privind proprietățile nano-mecanice și micro-porozitatea materialelor obținute prin aceste metode. Capitolul se încheie cu o discuție despre sustenabilitatea acestor tehnologii și perspectivele viitoare în fabricarea dispozitivelor dentare, sugerând direcții pentru cercetări ulterioare în vederea optimizării acestor procese.

Partea a II a lucrării – contribuții personale – stabilește *ipoteza principală și obiectivele generale ale tezei (capitolul 3)*. Ipoteza principală afirmă că rășinile acrilice imprimate 3D pentru aplicații dentare, cum ar fi gutierele, coroanele provizorii și ghidurile chirurgicale, au proprietăți fizice, chimice și biologice comparabile sau superioare materialelor realizate prin tehnologia CAD/CAM și metoda clasică de obținere. Aceste materiale sunt considerate a avea o biocompatibilitate ridicată și o durabilitate adecvată în mediul oral, chiar și în fața provocărilor biochimice precum interacțiunile cu saliva și microbiomul oral. De asemenea, sunt menționate obiectivele generale ale cercetării, care includ caracterizarea detaliată a proprietăților nano-

mecanice, evaluarea porozității, analiza interacțiunilor biochimice și compararea performanței materialelor dentare imprimate 3D cu cele obținute prin alte metode.

*Capitolul 4 descrie metodologia generală utilizată pentru a testa ipoteza și pentru a atinge obiectivele stabilite. Se prezintă trei metode de prelucrare a materialelor: fabricația aditivă (imprimarea 3D), metoda tradițională și fabricația substractivă (CAD/CAM). Fiecare metodă are specificații și proceduri detaliate pentru fabricarea probelor dentare, cum ar fi coroanele provizorii, gutierele și ghidurile chirurgicale. De exemplu, fabricarea aditivă implică utilizarea tehnologiei DLP (Digital Light Processing) pentru a imprima tridimensional probele din rășină acrilică lichidă. Metoda tradițională și fabricația substractivă sunt descrise în termeni de procese specifice și caracteristici ale materialelor rezultate. Capitolul subliniază importanța finisării probelor, un pas important pentru asigurarea acurateții și fiabilității rezultatelor experimentale. Fiecare metodă de prelucrare a fost evaluată pentru a asigura că materialele produse îndeplinesc standardele necesare pentru aplicațiile dentare.*

*Capitolul 5: Studiul 1 - Proprietățile nano-mecanice ale materialelor pe bază de rășină acrilică pentru restaurările dentare prelucrate prin frezare, imprimare 3D și metoda tradițională. Acest capitol al tezei tale este dedicat unei analize aprofundate a proprietăților nano-mecanice ale materialelor pe bază de rășină acrilică utilizate în restaurările dentare, comparând trei tehnici distincte de prelucrare: frezarea CAD/CAM, imprimarea 3D și metoda tradițională de turnare. În partea *introdactivă* capitolul pornește de la premisa că restaurările dentare trebuie să îndeplinească criterii riguroase de rezistență mecanică și durabilitate, fiind supuse constant unor forțe ocluzale și expuneri chimice complexe în mediul oral. În acest context, se pune întrebarea în ce măsură noile tehnologii de prelucrare, precum frezarea și imprimarea 3D, pot îmbunătăți aceste proprietăți comparativ cu metodele tradiționale. Se definește *ipoteza* că materialele prelucrate prin imprimare 3D și frezare vor prezenta proprietăți nano-mecanice cel puțin comparabile cu cele obținute prin metodele clasice, cu potențialul de a le depăși în anumite aspecte.*

Capitolul detaliază *metodologia* utilizată pentru evaluarea proprietăților nano-mecanice ale probelor. Materialele testate sunt rășinile acrilice, acestea fiind selectate datorită utilizării lor pe scară largă în stomatologie pentru restaurările temporare și dispozitivele dentare. Sunt descrise procedurile de pregătire a probelor pentru fiecare metodă de prelucrare: frezare

CAD/CAM, imprimare 3D și turnarea tradițională. Probele astfel obținute au fost supuse unor teste de nano-identare pentru a determina duritatea, modulul de elasticitate și rigiditatea.

*Rezultatele* experimentale sunt prezentate într-o manieră sistematică, comparând performanțele obținute pentru fiecare metodă de prelucrare. Datele arată diferențe între cele trei metode în ceea ce privește duritatea și elasticitatea materialelor. Rășinile prelucrate prin imprimare 3D au demonstrat o uniformitate mai bună a proprietăților nano-mecanice și o duritate comparabilă cu cele obținute prin frezare, depășind rezultatele probelor realizate prin metoda tradițională. Aceste observații sugerează că imprimarea 3D nu doar că îndeplinește standardele necesare, dar ar putea deveni o alternativă viabilă și în cazul restaurărilor permanente.

În secțiunea de *discuții*, autorul interpretează rezultatele în contextul aplicabilității clinice a acestor materiale. Se argumentează că uniformitatea și consistența proprietăților nano-mecanice obținute prin imprimare 3D pot contribui la o performanță clinică mai previzibilă și la o durabilitate sporită a restaurărilor dentare. De asemenea, se discută impactul potențial al acestor descoperiri asupra modului în care sunt selectate materialele și tehnologiile pentru restaurările dentare în practica de zi cu zi. Se subliniază faptul că frezarea CAD/CAM continuă să fie o tehnologie robustă, însă imprimarea 3D ar putea oferi avantaje economice și de personalizare superioare în anumite cazuri.

Capitolul se încheie cu *concluzii* care subliniază relevanța acestor descoperiri pentru evoluția restaurărilor dentare. Se propune ca imprimarea 3D să fie considerată o tehnologie de viitor pentru prelucrarea materialelor dentare, datorită capacității sale de a produce restaurări cu proprietăți mecanice optimizate și adaptate nevoilor individuale ale pacienților. Totuși, se recunoaște necesitatea unor studii clinice suplimentare pentru a valida pe termen lung performanțele observate în laborator.

În ansamblu, acest capitol aduce o contribuție valoroasă la înțelegerea modului în care tehnologiile emergente pot influența și pot îmbunătăți practica stomatologică, oferind o bază solidă pentru adoptarea unor noi standarde de calitate în fabricarea restaurărilor dentare.

*Capitolul 6: Studiul 2 - Caracterizarea morfologică cantitativă a porozității din probe de rășină acrilică obținute prin imprimare 3D și frezare CAD/CAM utilizând micro-tomografia computerizată.* Acest capitol al tezei tale este dedicat unui studiu detaliat al porozității

materialelor dentare pe bază de rășină acrilică, comparând două tehnici moderne de prelucrare: imprimarea 3D și frezarea CAD/CAM. Prin utilizarea micro-tomografiei computerizate (Micro-CT), acest capitol explorează caracteristicile morfologice interne ale materialelor, cu un accent deosebit pe distribuția și impactul porozității asupra performanței clinice a restaurărilor dentare.

În *introducere* capitolul descrie cu o discuție asupra importanței porozității în materialele dentare, subliniind impactul acesteia asupra proprietăților mecanice, biocompatibilității și durabilității restaurărilor. Se stabilește ipoteza conform căreia tehnologiile moderne de prelucrare, precum imprimarea 3D și frezarea CAD/CAM, pot genera materiale cu niveluri distincte de porozitate, influențând astfel performanța clinică. În acest context, micro-tomografia computerizată este prezentată ca un instrument esențial pentru caracterizarea detaliată și neinvazivă a structurilor interne ale materialelor dentare.

Secțiunea *metodologică* descrie în detaliu procedurile de pregătire a probelor și setările utilizate pentru micro-tomografie. Probele de rășină acrilică au fost obținute prin imprimare 3D și frezare CAD/CAM, fiecare metodă fiind optimizată pentru a reflecta condițiile clinice reale. Micro-tomografia computerizată a fost utilizată pentru a captura imagini tridimensionale de înaltă rezoluție ale probelor, permițând o analiză cantitativă a porozității. Parametrii analizați au inclus dimensiunea, distribuția și volumul porilor, precum și densitatea materialului.

*Rezultatele* obținute relevă diferențe între probele realizate prin cele două metode de prelucrare. Imaginile micro-CT au evidențiat o porozitate mai redusă și o distribuție mai uniformă a porilor în probele realizate prin frezare CAD/CAM, comparativ cu cele imprimate 3D. Această diferență poate fi atribuită proceselor distincte de fabricație, unde frezarea CAD/CAM implică eliminarea materialului dintr-un bloc solid, în timp ce imprimarea 3D adaugă material strat cu strat, posibil favorizând formarea porilor. De asemenea, s-a observat că porozitatea poate influența negativ proprietățile mecanice ale materialului, cum ar fi rezistența la fractură și durabilitatea în timp.

*Discuțiile* și interpretarea rezultatelor subliniază importanța controlului porozității în dezvoltarea materialelor dentare moderne. Porozitatea ridicată observată în probele imprimate 3D poate reprezenta o provocare pentru utilizarea pe termen lung a acestor materiale în restaurările dentare, sugerând necesitatea unor ajustări ale procesului de imprimare pentru a minimiza acest fenomen. În contrast, frezarea CAD/CAM, deși mai scumpă și mai puțin flexibilă în ceea ce privește personalizarea restaurărilor, oferă un avantaj în reducerea porozității

și, implicit, în îmbunătățirea proprietăților mecanice ale materialului. Se discută, de asemenea, implicațiile acestor constatări pentru practica clinică, sugerând o evaluare riguroasă a tehnicilor de prelucrare în funcție de cerințele specifice ale fiecărui caz.

Capitolul *concluzionează* că, deși imprimarea 3D reprezintă o tehnologie promițătoare în stomatologie, controlul atent al porozității este esențial pentru a asigura durabilitatea și eficiența clinică a materialelor dentare. Frezarea CAD/CAM rămâne o opțiune robustă din perspectiva proprietăților nano-mecanice și a controlului morfologic. Rezultatele acestui capitol oferă o bază pentru cercetări viitoare, propunând dezvoltarea unor tehnici hibride sau optimizarea proceselor existente pentru a combina avantajele ambelor metode de prelucrare.

În concluzie, acest capitol aduce contribuții semnificative la înțelegerea modului în care tehnologiile de prelucrare influențează structura internă și, implicit, performanța materialelor dentare, evidențiind necesitatea unor abordări integrate în dezvoltarea viitoarelor tehnologii de restaurare dentară.

*Capitolul 7: Studiul 3 - Analiza comportamentului fibroblastelor gingivale în prezența rășinilor dentare pe bază de metacrilat produse prin imprimare 3D versus frezare.* Acest capitol al tezei de doctorat investighează comportamentul fibroblastelor gingivale când sunt expuse la rășini dentare pe bază de metacrilat, comparând două metode de fabricație: imprimarea 3D și frezarea. Studiul se concentrează pe reacțiile celulare în prezența acestor materiale, evaluând aspecte precum aderența, proliferarea și viabilitatea celulelor, oferind astfel o perspectivă asupra biocompatibilității materialelor dentare moderne.

În partea de *introducere* regăsim o descriere a importanței biocompatibilității materialelor dentare, subliniind că interacțiunea dintre materialele dentare și țesuturile peri-implantare este crucială pentru succesul pe termen lung al restaurărilor dentare. Introducerea detaliază necesitatea evaluării comportamentului celulelor gingivale, care sunt printre primele care intră în contact cu materialele noi. Ipoteza studiului este că tehnologia de imprimare 3D, prin caracteristicile specifice de fabricație, ar putea influența diferit comportamentul fibroblastelor comparativ cu materialele frezate prin metoda CAD/CAM.

În continuare sunt descrise *materialele și metodologiile* utilizate pentru a testa interacțiunile dintre fibroblastele gingivale umane și probele din rășini de metacrilat. Probele au fost pregătite utilizând metodele de imprimare 3D și frezare, iar fibroblastele gingivale au fost

cultivate în condiții standardizate de laborator. S-au realizat teste pentru a evalua aderența celulelor la material, proliferarea acestora pe suprafața rășinilor și viabilitatea celulară prin diverse assay-uri biochimice, inclusiv MTT și testele de aderență.

*Rezultatele* obținute indică diferențe în răspunsul fibroblastelor la materialele testate. Fibroblastele expuse la rășinile produse prin imprimare 3D au arătat o rată de proliferare și aderență inferioară comparativ cu cele expuse la materialele frezate. De asemenea, s-a observat o viabilitate mai scăzută a celulelor pe materialele imprimate 3D, ceea ce ar putea sugera o eliberare mai mare de monomeri nefixați sau alte substanțe care ar putea fi toxice pentru celule.

În secțiunea de *discuții*, se analizează potențialele cauze ale diferitelor răspunsuri celulare observate, cum ar fi rugozitatea suprafeței, prezența porilor sau diferențele de eliberare a compușilor din materiale. Se sugerează că optimizările în procesul de imprimare 3D ar putea îmbunătăți biocompatibilitatea rășinilor din metacrilat. De asemenea, se discută despre relevanța acestor rezultate pentru practica clinică, evidențiind necesitatea unor teste suplimentare pentru adoptarea pe scară largă a tehnologiilor de imprimare 3D pentru materialele care vin în contact direct cu țesutul gingival.

Capitolul *concluzionează* că, deși imprimarea 3D oferă avantaje semnificative în ceea ce privește personalizarea și eficiența producției, este esențial să se acorde atenție biocompatibilității materialelor utilizate. Se recunoaște potențialul imprimării 3D de a revoluționa fabricația materialelor dentare, dar se subliniază importanța evaluării aprofundate a interacțiunilor celulare pentru a asigura succesul și siguranța pe termen lung a restaurărilor dentare.

Astfel, capitolul 7 aduce contribuții valoroase la înțelegerea interacțiunilor dintre materialele noi și țesuturile dentare, subliniind complexitatea evaluării biocompatibilității în contextul tehnologiilor emergente.

## Concluzii și contribuții personale

*Capitolul 8* din teza de doctorat este dedicat concluziilor și contribuțiilor personale ale autorului. Acest capitol este esențial deoarece sintetizează principalele descoperiri și oferă o reflecție asupra contribuțiilor aduse de cercetare.

În patea de *concluzii generale* se rezumă principalele rezultate ale cercetării, subliniind importanța și relevanța acestora pentru domeniul stomatologiei. Se evidențiază faptul că rășinile acrilice imprimate 3D prezintă proprietăți fizice, chimice și biologice comparabile sau superioare materialelor realizate prin alte metode, cum ar fi tehnologia CAD/CAM sau metodele tradiționale. Se discută avantajele și limitările fiecărei metode de fabricație analizate, cu accent pe potențialul imprimării 3D în a redefini standardele de îngrijire dentară.

Tehnologia imprimării tridimensionale a demonstrat capacitatea de a revoluționa diverse aplicații stomatologice, de la crearea de modele dentare precise la fabricarea de restaurări protetice și dispozitive ortodontice personalizate. Aceasta oferă avantaje semnificative prin reducerea timpului de tratament și a costurilor, îmbunătățind totodată precizia și personalizarea tratamentelor dentare.

Spre deosebire de tehnologia CAD/CAM, care utilizează procese substructive pentru a sculpta materialele, imprimarea 3D adaugă material strat cu strat, reducând risipa și oferind flexibilitate în design. Această abordare aditivă permite crearea de structuri complexe, greu de realizat prin metode tradiționale, și contribuie la practici stomatologice mai sustenabile.

Studiul a evidențiat importanța biocompatibilității și durabilității materialelor dentare în mediul oral. Rășinile acrilice utilizate în imprimarea 3D au arătat performanțe superioare în interacțiunea cu saliva și microbiomul oral, ceea ce este esențial pentru asigurarea succesului pe termen lung al tratamentelor dentare.

Cercetările au relevat că rășinile acrilice imprimate 3D prezintă proprietăți nano-mecanice remarcabile, cum ar fi duritatea, elasticitatea și rigiditatea, comparabile sau superioare materialelor realizate prin tehnologia CAD/CAM. De asemenea, interacțiunile biochimice dintre aceste materiale și mediul oral sunt favorabile, contribuind la durabilitatea și siguranța acestora în timp.

Studiul a realizat o evaluare detaliată a proprietăților nano-mecanice ale rășinilor acrilice imprimate 3D, comparativ cu materialele obținute prin tehnologia CAD/CAM. Această analiză



a permis identificarea avantajelor și limitărilor fiecărei tehnologii, oferind perspective utile pentru practica clinică.

Au fost investigate interacțiunile biochimice ale rășinilor acrilice cu saliva și microbiomul oral, evidențiind comportamentul acestora în mediul complex și dinamic al cavității orale. Aceste informații sunt esențiale pentru dezvoltarea de materiale dentare care să mențină sănătatea orală a pacienților.

A fost subliniat rolul tehnologiei de imprimare 3D în promovarea sustenabilității în stomatologie, prin reducerea deșeurilor și a consumului de materiale, precum și prin posibilitatea de producere locală a dispozitivelor dentare. Aceste aspecte contribuie la practici stomatologice mai ecologice și mai eficiente din punct de vedere energetic.

Rezultatele cercetărilor au fost publicate în reviste științifice de prestigiu, contribuind la diseminarea cunoștințelor și la avansarea domeniului. Aceste publicații reflectă munca de cercetare desfășurată și relevanța rezultatelor obținute pentru comunitatea științifică și practicienii din domeniul stomatologiei.

Ținând cont de rezultatele studiului, diferențele observate între cele două tipuri de eșantioane de rășini bazate pe MA pot fi atribuite metodei de fabricație. În general, materialele MA-CAD/CAM sunt adesea fabricate în condiții de laborator controlate, utilizând materii prime de înaltă calitate, ceea ce poate reduce potențialul de toxicitate. În plus, frezarea CAD/CAM implică în mod obișnuit un proces de fabricație prin subtracție, care generează mai multe deșeuri și emisii în comparație cu imprimarea 3D, ceea ce poate reduce impactul asupra mediului al materialului. În contrast, materialele dentare MA-3D sunt de obicei realizate folosind o metodă numită stereolitografie, care implică întărirea unei rășini lichide cu ajutorul luminii UV. Eșantioanele de material dentar obținute prin fabricație aditivă afectează proliferarea celulară în mod diferit față de materialul fabricat prin subtracție, probabil din cauza reacțiilor succesive incomplete de polimerizare. Mai mult, fabricația aditivă poate genera gaze toxice, în special dacă materialul nu este complet întărit sau dacă imprimanta nu este corespunzător ventilată.

S-a sugerat că pașii suplimentari de post-procesare, inclusiv întărirea și spălarea suplimentară, ar putea îmbunătăți biocompatibilitatea materialelor imprimate, deoarece eșantioanele imprimate pot induce apoptoza, așa cum a fost ilustrat și de rezultatele studiului.

În partea de *contribuții personale* au fost prezentate contribuțiile originale aduse domeniului, evidențiind inovațiile sau descoperirile realizate pe parcursul cercetării doctorale. Printre acestea se numără dezvoltarea unor noi metode de evaluare a materialelor dentare și integrarea unor tehnologii avansate de fabricație. Este subliniată importanța *evaluării continue și riguroase a noilor tehnologii*, pentru a asigura siguranța și eficiența pe termen lung.

În concluzie, *capitolul 8* servește ca o reflecție finală asupra muncii depuse de autor și subliniază impactul potențial al cercetării asupra practicii stomatologice viitoare, iar rezultatele obținute obligă continuarea muncii depuse până acum.

## Lista cu lucrările științifice publicate

### Articole publicate *in extenso* ca rezultat al cercetării doctorale

1. **Șaramet V**, Meleşcanu-Imre M, Țâncu AMC, Albu CC, Ripszky-Totan A, Pantea M. Molecular Interactions between Saliva and Dental Composites Resins: A Way Forward. *Materials* (Basel). **2021** May 13;14(10):2537. <https://doi.org/10.3390/ma14102537> . PMID: 34068320; PMCID: PMC8153278.
2. **Saramet, V.**; Stan, M.S.; Ripszky Totan, A.; Țâncu, A.M.C.; Voicu-Balasea, B.; Enasescu, D.S.; Rus-Hrincu, F.; Imre, M. Analysis of Gingival Fibroblasts Behaviour in the Presence of 3D-Printed versus Milled Methacrylate-Based Dental Resins—Do We Have a Winner? *J. Funct. Biomater.* **2024**, *15*, 147. <https://doi.org/10.3390/jfb15060147>

## Bibliografie selectivă

1. Pratap, B.; Gupta, R.K.; Bhardwaj, B.; Nag, M. Resin based restorative dental materials: Characteristics and future perspectives. *Jpn. Dent. Sci. Rev.* **2019**, *55*, 126–138. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
2. Pantea, M.; Ighigeanu, D.A.; Totan, A.; Greabu, M.; Miricescu, D.; Imre, M.M.; Totan, C.; Spinu, T.C.; Petre, A.; Bencze, A.; et al. Interactions Between Dental Composite Resins and Saliva A comparative biochemical in vitro study. *Mater. Plast.* **2019**, *56*, 529–533. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
3. Thorat, S.; Diaspro, A.; Salerno, M. In vitro investigation of coupling-agent-free dental restorative composite based on nano-porous alu-mina fillers. *J. Dent.* **2014**, *42*, 279–286. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
4. Salerno, M.; Diaspro, A. Dentistry on the Bridge to Nanoscience and Nanotechnology. *Front. Mater.* **2015**, *2*. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[Green Version](#)]
5. Chatzistavrou, X.; Fenno, J.C.; Faulk, D.; Badylak, S.; Kasuga, T.; Boccaccini, A.R.; Papagerakis, P. Fabrication and characterization of bioactive and antibacterial composites for dental applications. *Acta Biomater.* **2014**, *10*, 3723–3732. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
6. Xie, D.; Weng, Y.; Guo, X.; Zhao, J.; Gregory, R.; Zheng, C. Preparation and evaluation of a novel glass-ionomer cement with antibacterial functions. *Dent. Mater.* **2011**, *27*, 487–496. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
7. Xu, X.; Wang, Y.; Liao, S.; Wen, Z.T.; Fan, Y. Synthesis and characterization of
8. Zhang, N.; Ma, J.; Melo, M.A.; Weir, M.D.; Bai, Y.; Xu, H.H. Protein-repellent and antibacterial dental composite to inhibit biofilms and caries. *J. Dent.* **2015**, *43*, 225–234. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[Green Version](#)]
9. Vallittu, P.K.; Boccaccini, A.R.; Hupa, L.; Watts, D.C. Bioactive dental materials—Do they exist and what does bioactivity mean? *Dent. Mater.* **2018**, *34*, 693–694. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
10. Francois, P.; Fouquet, V.; Attal, J.-P.; Dursun, E. Commercially Available Fluoride-Releasing Restorative Materials: A Review and a Proposal for Classification. *Materials* **2020**, *13*, 2313. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

11. Wang, S.; Zhang, K.; Zhou, X.; Xu, N.; Xu, H.H.; Weir, M.D.; Ge, Y.; Wang, S.; Li, M.; Li, Y.; et al. Antibacterial Effect of Dental Adhesive Containing Dimethylaminododecyl Methacrylate on the Development of Streptococcus mutans Biofilm. *Int. J. Mol. Sci.* **2014**, *15*, 12791–12806. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)] [[Green Version](#)]
12. Zhou, H.; Liu, H.; Weir, M.D.; Reynolds, M.A.; Zhang, K.; Xu, H.H.K. Three-dimensional biofilm properties on dental bonding agent with varying quaternary ammonium charge densities. *J. Dent.* **2016**, *53*, 73–81. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)] [[Green Version](#)]
13. Xu, H.H.; Moreau, J.L.; Sun, L.; Chow, L.C. Nanocomposite containing amorphous calcium phosphate nanoparticles for caries inhibition. *Dent. Mater.* **2011**, *27*, 762–769. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[Green Version](#)]
14. Podgórski, M.; Becka, E.; Chatani, S.; Claudino, M.; Bowman, C.N. Ester-free thiol-X resins: New materials with enhanced mechanical behavior and solvent resistance. *Polym. Chem.* **2015**, *6*, 2234–2240. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
15. Ciocan, L.T.; Biru, E.I.; Vasilescu, V.G.; Ghitman, J.; Stefan, A.-R.; Iovu, H.; Ilici, R. Influence of Air-Barrier and Curing Light Distance on Conversion and Micro-Hardness of Dental Polymeric Materials. *Polymers* **2022**, *14*, 5346. [[CrossRef](#)]
16. Zabrovsky, A.; Beyth, N.; Pietrokovski, Y.; Ben-Gal, G.; Hourri-Haddad, Y. 5—Biocompatibility and functionality of dental restorative materials. In *Biocompatibility of Dental Biomaterials*; Shelton, R., Ed.; Woodhead Publishing: Cambridge, UK, 2017; pp. 63–75. [[Google Scholar](#)]
17. Hatton, P.V.; Mulligan, S.; Martin, N. The safety and biocompatibility of direct aesthetic restorative materials. *Br. Dent. J.* **2022**, *232*, 611–614. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
18. Yang, D.-L.; Sun, Q.; Niu, H.; Wang, R.-L.; Wang, D.; Wang, J.-X. The properties of dental resin composites reinforced with silica colloidal nanoparticle clusters: Effects of heat treatment and filler composition. *Compos. Part B Eng.* **2020**, *186*, 107791. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
19. Salari, S.; Dadkan, S.; Khakbiz, M.; Atai, M. Effect of nanoparticles on surface characteristics of dental nanocomposite. *Med. Devices Sens.* **2020**, *3*, e10081. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]

20. Hegde, M.N.; Hegde, P.; Bhandary, S.; Deepika, K. An evaluation of compressive strength of newer nanocomposite: An in vitro study. *J. Conserv. Dent. JCD* **2011**, *14*, 36–39. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
21. Ciocan, L.T.; Ghitman, J.; Vasilescu, V.G.; Iovu, H. Mechanical Properties of Polymer-Based Blanks for Machined Dental Restorations. *Materials* **2021**, *14*, 7293. [[CrossRef](#)]
22. Saramet, V.; Stan, M.S.; Ripszky Totan, A.; Țâncu, A.M.C.; Voicu-Balasea, B.; Enasescu, D.S.; Rus-Hrincu, F.; Imre, M. Analysis of Gingival Fibroblasts Behaviour in the Presence of 3D-Printed versus Milled Methacrylate-Based Dental Resins—Do We Have a Winner? *J. Funct. Biomater.* **2024**, *15*, 147. [[CrossRef](#)]
23. Kuzet, S.E.; Gaggioli, C. Fibroblast activation in cancer: When seed fertilizes soil. *Cell Tissue Res.* **2016**, *365*, 607–619. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
24. Kowalczyk, M. Intrinsically biocompatible polymer systems. *Polymers* **2020**, *12*, 272. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
25. Williams, D. Revisiting the definition of biocompatibility. *Med. Device Technol.* **2003**, *14*, 10–13. [[Google Scholar](#)] [[PubMed](#)]
26. Ratner, B.D. A pore way to heal and regenerate: 21st century thinking on biocompatibility. *Regen. Biomater.* **2016**, *3*, 107–110. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
27. Poiana, I.R.; Dobre, R.; Popescu, R.I.; Pituru, S.M.; Bucur, A. Utility of Cone-Beam Computed Tomography in the Detection of Low Bone Mass-A Systematic Review. *J. Clin. Med.* **2023**, *12*, 5890. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
28. Diomede, F.; Tripodi, D.; Trubiani, O.; Pizzicannella, J. HEMA effects on autophagy mechanism in human dental pulp stem cells. *Materials* **2019**, *12*, 2285. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
29. Nicolae, I.; Tampa, M.; Mitran, C.; Ene, C.D.; Mitran, M.; Matei, C.; Mușetescu, A.; Pițuru, S.; Pop, C.S.; Georgescu, S.R. Gamma-glutamyl transpeptidase alteration as a biomarker of oxidative stress in patients with human papillomavirus lesions following topical treatment with sinecatechins. *Farmacia* **2017**, *65*, 4. [[Google Scholar](#)]
30. Saramet, V.; Meleşcanu-Imre, M.; Țâncu, A.M.C.; Albu, C.C.; Ripszky-Totan, A.; Pantea, M. Molecular Interactions between Saliva and Dental Composites Resins: A Way Forward. *Materials* **2021**, *14*, 2537. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]