



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

TEZĂ DE DOCTORAT

Conducător de doctorat:

PROF. UNIV. DR. MARINA IMRE

Student-doctorand:

ALIONA DODI



UNIVERSITATEA DE MEDICINĂ ȘI FARMACIE

**„CAROL DAVILA”, BUCUREȘTI
ȘCOALA DOCTORALĂ
DOMENIUL MEDICINĂ DENTARĂ**

**REABILITĂRILE PROTETICE PE IMPLANTURI
DENTARE ÎN ERA DIGITALĂ: EVALUARE
INTEGRATĂ BIOMECANICĂ, CLINICO-
FUNCȚIONALĂ ȘI CENTRATĂ PE PACIENT A UNUI
CONCEPT FĂRĂ BONT PROTETIC**

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

Conducător de doctorat:

PROF. UNIV. DR. MARINA IMRE

Student-doctorand:

ALIONA DODI

2026

CUPRINS

INTRODUCERE	11
I. PARTEA GENERALĂ. STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII	14
1. Reabilitările implantoprotetice în era digitală: tehnologii, flux clinic și perspectiva pacientului	14
1.1. Fluxul de lucru digital în reabilitările implantoprotetice	14
1.1.1. Scanarea intraorală (IOS)	14
1.1.2. Tomografia computerizată cu fascicul conic (CBCT)	14
1.1.3. Sistemele CAD/CAM	15
1.1.4. Chirurgia ghidată	15
1.2. Fluxul de lucru digital: acuratețe, erori și control clinic	16
1.3. Perspectiva pacientului	16
1.4. Fluxul digital ca premisă pentru restaurările abutment-free	18
2. Conceptul abutment-free în restaurările pe implanturi: implicații biologice, biomecanice și clinico-funcționale	19
2.1. Arhitectura reabilitărilor protetice pe implanturi: de la configurațiile convenționale la conceptul fără bont protetic (abutment-free)	19
2.1.1. Bone-level versus tissue-level	19
2.1.2. Conexiunea protetică și interfața implant-restaurare.....	20
2.1.3. Componentele protetice: bontul protetic, bazele de Ti și restaurările fără bont protetic ...	20
2.1.4. Designul transmucosal al restaurărilor pe implanturi și implicațiile sale biologice și clinice	21
2.2. Restaurările abutment-free: justificare protetică și dovezi disponibile	22
2.2.1. Restaurări cimentate versus înșurubate	22
2.2.2. Date disponibile și limite	23
2.3. Biomecanica ansamblului implant-șurub-restaurare	24
2.3.1. Platforma protetică și distribuția forțelor	24
2.3.2. Preîncărcarea șurubului protetic	24
2.3.3. Reverse Torque Value (RTV) și pierderea cuplului de strângere.....	25
2.3.4. Solicitățile axiale și oblice: consecințe biomecanice	26

2.4. Evaluarea biomecanică și funcțională: metoda elementelor finite și analiza digitală a ocluziei	26
2.4.1. Metoda elementelor finite (FEA).....	26
2.4.2. Analiza digitală a ocluziei	27
2.5. Indicatori clinico-biologici și rezultate raportate de pacient în restaurările pe implanturi	28
2.5.1. Supraviețuire, succes și complicații în restaurările protetice pe implanturi	28
2.5.2. Clasificarea și parametrii clinici ai statusului periimplantar	29
2.5.3. Nivelul osos marginal: interpretare radiologică și limite metodologice în studiile transversale	29
2.5.4. Microbiologia periimplantară și metodologia qPCR.....	30
2.5.5. PROMs în evaluarea restaurărilor protetice	30
II. CONTRIBUȚII PERSONALE	32
3. Ipoteza de lucru și obiectivele generale ale cercetării	32
3.1. Premisele cercetării și ipoteza de lucru	32
3.2. Obiectivele cercetării	33
4. Studiul 1: Evaluarea cunoștințelor și percepțiilor pacienților față de tehnologiile digitale utilizate în medicina dentară modernă: studiu observațional transversal	35
4.1. Introducere. Scopul, ipoteza de lucru și obiectivele studiului	35
4.2. Materiale și metode	36
4.2.1. Criterii de includere și excludere	37
4.2.2. Instrumentul de colectare a datelor	37
4.2.3. Validarea chestionarului	38
4.2.4. Analiza statistică	38
4.2.5. Considerații etice.....	39
4.3. Rezultate	39
4.3.1. Caracteristicile generale ale lotului.....	39
4.3.2. Atitudini față de tehnologiile digitale: analiza descriptivă a itemilor Q20–Q34	41
4.3.3. Diferențe semnificative între grupurile demografice și clinice	43
4.3.4. Corelații între itemii de tip Likert	47
4.4. Discuții	48
4.4.1. Implicații clinice	50

4.4.2. Limitele studiului	51
4.4.3. Direcții viitoare de cercetare	53
4.5. Concluzii parțiale	53
5. Studiul 2: Analiza biomecanică prin metoda elementelor finite a unei configurații implantoprotetice fără bont protetic comparativ cu o configurație tissue-level restaurată pe bază de titan	55
5.1. Introducere. Ipoteza de lucru și obiective specifice.....	55
5.2. Materiale și metode	57
5.2.1. Modelele CAD și configurațiile analizate	59
5.2.2. Proprietățile materialelor	61
5.2.3. Interfețele mecanice și condițiile de contact	62
5.2.4. Condițiile la limită.....	63
5.2.5. Preîncărcarea șurubului protetic (Pasul 1).....	64
5.2.6. Încărcarea axială și încărcarea oblică	64
5.2.7. Discretizarea modelelor și rafinarea rețelei de discretizare	64
5.2.8. Configurarea soluționării numerice.....	65
5.2.9. Studiul de convergență al rețelei de discretizare	66
5.2.10. Regiunile de interes și post-procesarea rezultatelor	66
5.2.11. Factorul de siguranță, tensiunea admisibilă și pragurile de raportare.....	67
5.3. Rezultate	67
5.3.1. Evaluarea distribuției tensiunilor von Mises.....	68
5.3.2. Analiza tensiunilor în coroane.....	69
5.3.3. Analiza tensiunilor în implanturi	76
5.3.4. Influența lungimii șurubului de retenție	77
5.3.5. Analiza tensiunilor de la nivelul bazei de Ti	78
5.3.6. Verificări numerice și controlul calității modelului	81
5.4. Discuții	82
5.4.1. Constatări principale	82
5.4.2. Evaluarea comparativă a configurațiilor	83
5.4.3. Interpretarea mecanică.....	83
5.4.4. Implicații clinice	84
5.4.5. Limitele studiului	85
5.4.6. Perspective și direcții viitoare de cercetare.....	86
5.5. Concluzii parțiale	87

6. Studiul 3: Pierderea cuplului de strângere și parametrii clinico-biologici periimplantari în restaurările pe implanturi tissue-level fără bont protetic versus tissue-level convențional: studiu observațional comparativ	89
6.1. Introducere	89
6.2. Materiale si metode	91
6.2.1. Designul studiului și considerații etice	91
6.2.2. Lotul de studiu și criteriile de eligibilitate	92
6.2.3. Grupurile de studiu și restaurările analizate	93
6.2.4. Protocolul clinic de evaluare	94
6.2.5. Evaluarea pierderii cuplului de strângere.....	94
6.2.6. Evaluarea ocluzală digitală	95
6.2.7. Evaluarea clinică și radiologică periimplantară.....	97
6.2.8. Evaluarea microbiologică periimplantară prin qPCR	98
6.2.9. Evaluarea rezultatelor raportate de pacient	100
6.2.10. Analiza statistică.....	100
6.3. Rezultate	103
6.3.1. Caracteristicile generale ale lotului și comparabilitatea grupurilor Matrix–Octa	103
6.3.2. Analiza pierderii procentuale a cuplului de strângere	106
6.3.3. Parametrii mecanici secundari: RTV și ΔT	110
6.3.4. Evenimente protetice și ocluzale și relația acestora cu parametrii mecanici	112
6.3.5. Evaluarea digitală a ocluziei cu ajutorul OccluSense	113
6.3.6. Parametrii clinici periimplantari și pierderea osoasă marginală	118
6.3.7. Analiza microbiologică periimplantară prin qPCR	122
6.3.8. Rezultatele raportate de pacient: analiza scorurilor VAS	125
6.3.9. Analize de sensibilitate pentru rezultatul mecanic principal	128
6.4. Discuții	131
6.4.1. Interpretarea rezultatului mecanic principal.....	131
6.4.2. Semnificația diferențiată a RTV, ΔT și pierderii procentuale a cuplului	132
6.4.3. Integrarea rezultatului clinic cu FEA și cu evaluarea ocluzală digitală.....	133
6.4.4. Evenimente protetice și relevanța clinică a pierderii de cuplu.....	135
6.4.5. Parametrii periimplantari, pierderea osoasă marginală și profilul microbiologic qPCR...	137
6.4.6. Rezultatele raportate de pacient	139
6.4.7. Considerații metodologice și limite ale interpretării rezultatelor.....	141
6.4.8. Implicații clinice și direcții viitoare	143
6.5. Concluzii parțiale	145

7. CONCLUZII GENERALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE	147
7.1. Sinteză a cercetării doctorale.....	147
7.2. Concluzii generale raportate la obiectivele cercetării.....	147
7.3. Contribuții personale și elemente de originalitate.....	149
7.4. Limite generale ale cercetării	150
7.5. Perspective și direcții viitoare de cercetare	150
Bibliografie.....	152
<i>Anexa 1. Chestionarul privind evaluarea gradului de cunoaștere și a atitudinii pacienților față de tehnologiile digitale utilizate în tratamentul stomatologic modern.</i>	169
<i>Anexa 2. Rezultate descriptive și analize statistice extinse pentru studiul observațional transversal.....</i>	176
<i>Anexa 3. Figuri suplimentare privind metodologia și rezultatele analizei cu elemente finite pentru studiul biomecanic FEA TRI® Matrix® versus TRI® Octa..</i>	193
<i>Anexa 4. Rezultate statistice extinse pentru studiul clinic Matrix–Octa.....</i>	201

INTRODUCERE

Evaluarea unei reabilitări protetice pe implanturi dentare depășește astăzi criteriul clasic al osteointegrării. Succesul terapeutic este definit prin stabilitatea mecanică a ansamblului restaurare-implant, sănătatea țesuturilor periimplantare, distribuția corectă a forțelor ocluzale, igienizabilitatea restaurării și satisfacția pacientului. Digitalizarea medicinei dentare a modificat profund modul în care aceste obiective pot fi planificate, realizate și urmărite în timp, fără a elimina variabilitatea biologică sau erorile cumulative ale etapelor clinice și de laborator [1–3].

Proiectarea și fabricația digitală au permis dezvoltarea unor arhitecturi protetice noi, între care configurația fără bont protetic (denumită abutment-free) ocupă un loc distinct. În această configurație, restaurarea se fixează direct la implant prin șurub de retenție, fără o componentă intermediară. Sistemul TRI® Matrix® reprezintă, în cadrul acestei teze, modelul clinic al conceptului abutment-free, iar TRI® Octa®, configurația tissue-level convențională restaurată pe bază de titan (Ti-base), a fost utilizat ca termen de comparație [4–6].

Lacuna științifică de la care pornește cercetarea constă în documentarea insuficientă a restaurărilor abutment-free prin evaluări clinice integrate, comparative cu soluțiile convenționale. Literatura disponibilă oferă repere privind digitalizarea, comportamentul mecanic al componentelor protetice, statusul periimplantar și rezultatele raportate de pacient, dar aceste dimensiuni sunt frecvent analizate separat. Evaluările integrate, care să coreleze sistematic biomecanica, parametrii clinico-biologici și perspectiva pacientului pentru același concept protetic, rămân rare [2, 3, 5, 7].

Ipoteza generală a tezei este că restaurările implantoprotetice fără bont intermediar pot oferi rezultate clinico-funcționale și centrate pe pacient comparabile cu cele ale restaurărilor convenționale cu bază de titan, dar cu particularități biomecanice determinate de arhitectura diferită a ansamblului implant-șurub-restaurare. O ipoteză secundară, dar relevantă în contextul digitalizării, vizează percepția pacienților: nivelul de cunoaștere și acceptarea tehnologiilor digitale din stomatologie de către pacienți variază în funcție de factori socio-demografici și de experiența clinică anterioară.

Cercetarea a inclus trei studii cu designuri diferite: un studiu observațional transversal prin chestionar privind percepțiile pacienților (Capitolul 4), o analiză biomecanică prin metoda elementelor finite (Capitolul 5) și un studiu clinic observațional analitic comparativ Matrix-Octa (Capitolul 6). Integrarea rezultatelor s-a realizat prin sinteză narativă, deoarece

cele trei componente au tipuri de date incompatibile cu un model statistic unic. Teza nu urmărește demonstrarea superiorității unui sistem implantar, ci caracterizarea comparativă a două arhitecturi cu relevanță clinică directă.

I. PARTEA GENERALĂ. STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII

1. Reabilitările implantoprotetice în era digitală: tehnologii, flux clinic și perspectiva pacientului

Medicina dentară contemporană utilizează tehnologiile digitale pentru a restructura etapele diagnostice, chirurgicale și protetice. În implantoprotetică, aceasta se traduce prin posibilitatea planificării ghidate protetic, în care poziția implantului este stabilită în raport cu restaurarea finală și nu doar cu disponibilitatea osoasă [1, 7].

Scanarea intraorală (IOS) permite obținerea unei amprente optice a arcadelor dentare și a poziției tridimensionale a implanturilor prin intermediul corpurilor de scanare dedicate (scanbody). Acuratețea sa este descrisă prin trueness (deviația față de valoarea de referință) și precision (reproductibilitatea), conform metodologiei ISO 5725. Utilizarea IOS pentru restaurări unitare și edentații reduse are rezultate comparabile amprentării convenționale, cu avantaje suplimentare legate de transferul rapid al fișierelor și eliminarea materialelor de amprentă [8, 9].

Tomografia computerizată cu fascicul conic (CBCT) completează informația furnizată de IOS prin evaluarea tridimensională a volumului și densității osoase. Suprapunerea fișierelor DICOM și STL permite planificarea implantului în raport cu viitoarea restaurare, axul protetic și spațiul ocluzal disponibil. Indicația CBCT se stabilește prin raportare la principiile de radioprotecție și la ghidurile europene privind utilizarea sa în radiologia oromaxilofacială [10].

Sistemele CAD/CAM permit proiectarea și producerea unui spectru larg de restaurări: coroane și punți pe bonturi individualizate sau direct pe implant, structuri hibride și punți totale fixe. Procesele subtractive (frezarea) rămân metoda principală pentru materiale ceramice și aliaje metalice; procesele aditive (imprimarea 3D) sunt utilizate predominant pentru modele, ghiduri chirurgicale și restaurări provizorii. Alegerea materialului restaurator (dioxid de zirconiu monolitic sau stratificat, disilicat de litiu, PEEK, titan) influențează rezistența mecanică, estetica și modulul de elasticitate. Indiferent de material, validarea virtuală a designului nu substituie controlul clinic al adaptării, igienizabilității și morfologiei ocluzale [1, 7].

Chirurgia ghidată transferă planificarea digitală în câmpul operator prin ghiduri dento-, muco- sau oso-purtate fabricate digital. Metaanalizele arată concordanță superioară față de inserarea neghidată, cu deviații medii de 1–1,5 mm la apex și 3–4 grade angular, variabile

în funcție de tipul de suport, stabilitatea ghidului și experiența operatorului. Poziția finală a implantului trebuie verificată clinic și integrată în etapa protetică ulterioară [11].

Performanța unui flux digital depinde de fidelitatea cu care informația se conservă de-a lungul întregului lanț terapeutic. Efectul cumulativ al erorilor individuale ale fiecărei etape (error stacking) este mai important clinic decât acuratețea izolată a unei componente. Integrarea IOS-CBCT, necesară pentru crearea ghidurilor chirurgicale, depinde de calitatea reperelor anatomice și absența artefactelor metalice. O sursă de eroare frecvent subestimată este alegerea incorectă a bibliotecii digitale sau a fișierului corespunzător corpului de scanare utilizat clinic [7].

Controlul clinic rămâne obligatoriu în orice protocol digital, deoarece adaptarea marginală, pasivitatea structurii, accesul pentru igienizare și ocluzia nu pot fi validate exclusiv prin software. Lipsa mecanismului proprioceptiv al ligamentului parodontal, specifică implantului osteointegrat, impune verificarea ocluzală și ajustarea clinică după inserarea restaurării. Fluxurile digitale pot reduce timpul clinic prin eliminarea amprentării convenționale și a modelelor fizice, mai ales în restaurările unitare, dar câștigul de eficiență nu este constant în toate indicațiile [12].

Studiile încrucișate și sintezele sistematice raportează o preferință mai mare pentru IOS față de amprentarea convențională, asociată frecvent cu reducerea disconfortului. Totuși, aceste rezultate descriu acceptarea unei etape clinice specifice, nu satisfacția față de tratamentul implantar în ansamblu. Evaluarea prin PROMs arată că avantajele fluxului digital nu se extind uniform la toate dimensiunile evaluate: heterogenitatea între studii este semnificativă, iar superioritatea pentru durere sau estetică nu este constantă [9].

Capacitatea pacientului de a interpreta informațiile privind tratamentul digital depinde de nivelul de alfabetizare în sănătate digitală (eHealth literacy), definit de Norman și Skinner ca abilitatea de a căuta, înțelege, evalua și utiliza informația medicală disponibilă online. Accesul la informație nu garantează înțelegerea critică a indicațiilor, limitelor și alternativelor terapeutice. Calitatea informației online despre implanturi este variabilă; evaluările site-urilor destinate pacienților au arătat că informațiile pot minimiza sau omite complicațiile și limitele tratamentului. Un pacient informat predominant din surse online poate ajunge la consultul inițial supraestimând simplitatea și predictibilitatea tratamentului [13, 14].

Fluxurile digitale au creat condițiile tehnice necesare pentru individualizarea restaurărilor implantare și realizarea unor configurații protetice dificil de obținut prin tehnici convenționale. Conceptul abutment-free a apărut în acest context: restaurarea protetică este

proiectată și realizată în raport direct cu platforma implantului, fără componentă protetică intermediară. Aceasta ridică întrebări clinice care nu pot fi rezolvate prin analogie cu sistemele convenționale: modul de distribuție a solicitărilor funcționale la interfața restaurare–implant, stabilitatea mecanică a conexiunii în condiții ocluzale reale și răspunsul țesuturilor periimplantare la un profil de urgență proiectat direct din platforma implantară [4, 5, 7].

2. Conceptul abutment-free în restaurările pe implanturi: implicații biologice, biomecanice și clinico-funcționale

Implanturile bone-level sunt inserate la nivelul crestei osoase, cu platforma protetică la nivelul sau sub marginea osoasă, oferind flexibilitate protetică și control bun al profilului de emergență. Potențiala limitare constă în plasarea microgap-ului în vecinătatea osului marginal, unde microinfiltrația bacteriană și micromișcările pot genera răspunsuri inflamatorii locale asociate cu pierdere osoasă marginală. Implanturile tissue-level poziționează platforma coronar față de creasta osoasă, deplasând interfața protetică la distanță de osul marginal, ceea ce poate facilita igienizarea și mentenanța [2, 15].

Bontul protetic, prefabricat sau individualizat, drept sau angulat, asigură tranziția dintre platforma implantului și restaurarea coronară. Fiecare bont introduce o interfață suplimentară cu potențial de microinfiltrare bacteriană și instabilitate mecanică. Numărul de strângeri și deșurubări succesive poate afecta integritatea suprafețelor de contact. Baza de Ti (Ti-base) este o componentă intermediară de titan utilizată în fluxurile CAD/CAM, iar restaurarea ceramică sau hibridă este fixată adeziv pe aceasta în laborator. Datele indică rezultate clinice favorabile pentru restaurările unitare pe Ti-base, cu mențiunea că variabilitatea înălțimii bazei metalice, a protocoalelor de tratament de suprafață și a adezivilor utilizați constituie surse de heterogenitate între studii [12, 16].

Restaurările fixate directe pe implant (abutment-free) elimină componenta intermediară: restaurarea include simultan suprafața de conexiune cu platforma implantului și componenta coronară, fixarea realizându-se prin șurub de retenție direct în implant. Această arhitectură reduce numărul de interfețe mecanice și biologice. Traseul de transmitere a solicitărilor se reconfigurează: platforma protetică și șurubul de retenție preiau funcții distribuite în sistemele convenționale între bontul protetic, șurubul de bont și suprafețele dintre componente. Conceptul poate fi aplicat clinic doar dacă sunt disponibile bibliotecile digitale specifice, scanbody-urile compatibile și software-urile CAD capabile să reproducă precis geometria platformei protetice [4, 5].

Restaurările înșurubate față de cele cimentate prezintă riscuri diferite de complicații: cimentarea este asociată cu un risc mai mare de complicații biologice datorate cimentului rezidual subgingival, în timp ce înșurubarea se asociază mai frecvent cu fractura ceramicii sau deșurubarea componentelor. Wilson a raportat că 81% dintr-o serie de cazuri cu semne clinice de boală periimplantară prezentau ciment rezidual nedetectat anterior. Restaurările

înșurubate elimină riscul specific al cimentului rezidual și permit accesul la componentele protetice fără compromiterea restaurării [17, 18].

Arhitectura abutment-free cumulează trei avantaje: evitarea cimentării intraorale, reducerea numărului de interfețe și compatibilitatea cu fluxurile CAD/CAM. Literatura privind restaurările abutment-free directe pe implant rămâne limitată comparativ cu cea disponibilă pentru restaurările pe bonturi sau Ti-base. Hjerpe et al. au evaluat patru configurații de restaurări molare monolitice din zirconiu prin îmbătrânire termomecanică de 1.200.000 cicluri la 49 N și 30°, urmată de testare statică până la eșec. Toate probele au supraviețuit îmbătrânirii, iar sarcina la eșec a configurației abutment-free (1332 N) a fost semnificativ mai mică doar față de unul dintre grupurile Ti-base (1601 N). Aceste rezultate nu pot fi extrapolate la comportamentul clinic, deoarece condițiile standardizate de laborator nu reproduc variabilitatea forțelor masticatorii, ciclicitatea solicitărilor, efectele termice și chimice ale mediului oral sau variabilitatea biologică interindividuală [5, 16].

Stabilitatea restaurărilor înșurubate se bazează pe preîncărcare, adică forța internă generată în șurub prin aplicarea cuplului de strângere. Conversia cuplului în preîncărcare este influențată de frecarea la nivelul filetului și sub capul șurubului, de materialul șurubului și de istoricul strângerilor anterioare. Pierderea preîncărcării apare prin două mecanisme cu dinamici temporale diferite: tasarea inițială, prin deformarea progresivă a microasperităților suprafețelor metalice în contact (imediat după strângere), și micromișcările intercomponente datorate solicitărilor masticatorii ciclice (pe termen lung). Reaplicarea cuplului după aproximativ 10 minute permite compensarea parțială a tasării inițiale [12, 19].

Reverse Torque Value (RTV) reprezintă cuplul necesar inițierii deșurubării și oferă o estimare indirectă a stabilității mecanice reziduale. Valoarea sa este influențată de cuplul inițial de strângere, de tasarea suprafețelor de contact, de frecarea reziduală la nivelul filetului și de solicitările funcționale acumulate. Compararea RTV între sisteme cu valori inițiale diferite ale cuplului de strângere impune raportarea pierderii în termeni relativi: pierderea procentuală a cuplului, definită ca diferența relativă față de valoarea inițială/țintă de strângere, este un parametru mai adecvat pentru comparații între sisteme cu T_0 diferite [12, 20].

Forțele oblice introduc momente de încovoiere la nivelul gâtului implantului și platformei protetice, cu amplitudine dependentă de intensitatea forței și de lungimea brațului de pârghie. Contactele pe versanți cuspidieni, parafuncțiile și restaurările cu cuspidi înalți pot amplifica componenta oblică a solicitărilor. Relația dintre supraîncărcarea ocluzală și pierderea osoasă periimplantară rămâne controversată în literatura clinică, deoarece studiile

nu au stabilit un prag cantitativ reproductibil al supraîncărcării. Absența bontului poate modifica distribuția tensiunilor în platformă și șurub, aspect investigabil prin FEA și evaluat clinic prin RTV și pierdere de cuplu [21].

FEA permite simularea ansamblului implant–componentă protetică–restaurare–os periimplantar în condiții controlate de geometrie, contact și încărcare. Interpretarea rezultatelor depinde de ipotezele modelului: materiale omogene și izotrope, os cu densitate uniformă, osteointegrare completă și solicitări statice sau cvasi-statice. Din acest motiv, valoarea metodei constă în comparațiile interne realizate pe același model de bază, nu în valorile absolute ale tensiunilor. Parametrii de evaluare, tensiunea von Mises, tensiunea principală maximă (σ_1), tensiunea de forfecare, trebuie declarați explicit [22–24].

Analiza digitală a ocluziei prin sisteme precum T-Scan sau OccluSense înregistrează secvența temporală a contactelor și distribuția relativă a presiunilor ocluzale, spre deosebire de hârtia de articulație, care doar localizează contactele. Datele acestor sisteme trebuie interpretate ca valori relative, nu ca măsurători absolute ale forței, iar comparațiile cu metodele convenționale arată că hârtia de articulație și sistemele digitale nu identifică întotdeauna aceleași aspecte ale ocluziei [25, 26].

Clasificarea bolilor periimplantare stabilită la al IV-lea Workshop Mondial EFP/AAP din 2017 diferențiază sănătatea periimplantară, mucosita periimplantară (inflamație reversibilă a mucoasei, fără pierdere osoasă progresivă) și periimplantita (inflamație asociată cu pierdere osoasă progresivă). Parametrii clinici principali sunt indicele de placă, sângerarea la sondare, adâncimea de sondare, supurația, mobilitatea implantului și nivelul osos marginal. BoP este sensibil pentru inflamație, dar nu este specific pentru periimplantită în absența pierderii osoase documentate radiologic [2, 15].

Biofilmul bacterian are un rol central în inițierea și menținerea inflamației periimplantare. Speciile asociate complexelor roșu (*Pg*, *Td*, *Tf*) și portocaliu sunt frecvent identificate în boala periimplantară activă. qPCR permite detectarea și estimarea semi-cantitativă a unor specii selectate; valorile obținute sunt estimări relative ale încărcăturii bacteriene, nu cuantificări directe ale bacteriilor viabile [27, 28].

PROMs acoperă dimensiuni inaccesibile examinării clinice directe (percepția asupra funcției masticatorii, confortul, estetica, fonetica, ușurința igienizării și satisfacția globală). Instrumente precum OHIP-14 și scalele VAS permit cuantificarea percepției pacientului, dar scorurile trebuie interpretate în raport cu așteptările inițiale și cu contextul clinic [3, 29, 30].

II. CONTRIBUȚII PERSONALE

3. Ipoteza de lucru și obiectivele generale ale cercetării

3.1. Premisele cercetării și ipoteza de lucru

Datele privind comportamentul mecanic al configurațiilor abutment-free comparativ cu soluțiile tissue-level convenționale rămân limitate în literatura de specialitate. Acestea provin predominant din studii experimentale, analize numerice izolate sau serii clinice fără comparator activ și fără o corelare sistematică a parametrilor mecanici, ocluzali, periimplantari, microbiologici și a rezultatelor raportate de pacient pentru acest concept protetic [5, 16, 31, 32].

Evaluarea digitalizării medicinei dentare nu poate fi redusă la performanța tehnică a procedurilor. Nivelul de informare al pacienților, percepțiile privind siguranța, costurile și valoarea terapeutică a noilor tehnologii influențează acceptarea tratamentelor și condiționează în ce măsură inovația tehnologică generează beneficii percepute. Absența unor date sistematice despre cunoștințele și atitudinile pacienților față de tehnologiile digitale stomatologice limitează capacitatea de interpretare a rezultatelor clinice din perspectiva acestora [3, 9, 29, 30, 32, 33].

Din perspectivă biomecanică, eliminarea bontului protetic intermediar poate modifica distribuția tensiunilor la nivelul platformei protetice, al gâtului implantului și al șurubului de retenție, cu variații dependente de parametrii geometrici ai configurației și de direcția de încărcare [4–6, 16]. Analiza cu elemente finite permite compararea sistematică a acestor efecte în condiții standardizate, inaccesibile prin evaluare clinică directă [22–24].

Validarea clinică presupune evaluarea restaurărilor aflate în funcțiune, deoarece modelele numerice nu reproduc complexitatea mediului oral, variabilitatea încărcărilor funcționale sau condițiile biologice locale [5, 16, 20, 22–24, 31]. Diferențele identificate biomecanic necesită verificare prin parametri măsurabili in vivo, inclusiv rezultate raportate de pacient.

Ipoteza generală a tezei este că restaurările implantoprotetice fără bont intermediar pot oferi rezultate clinico-funcționale și centrate pe pacient comparabile cu cele ale restaurărilor convenționale cu bază de titan, dar cu particularități biomecanice determinate de arhitectura diferită a ansamblului implant–șurub–restaurare.

Ipoteza de lucru pentru Studiul 1: nivelul de cunoaștere și atitudinile pacienților față de tehnologiile digitale stomatologice variază în funcție de factori socio-demografici și

clinici, iar percepțiile față de aceste tehnologii sunt preponderent favorabile, inclusiv în scenariile asociate cu costuri mai ridicate.

Ipoteza de lucru pentru Studiul 2: eliminarea bontului protetic intermediar în configurația TRI® Matrix® modifică distribuția tensiunilor comparativ cu configurația TRI® Octa® restaurată pe Ti-base. Se anticipează că încărcarea oblică va genera tensiuni de magnitudine superioară față de scenariul axial, iar influența diametrului platformei protetice și a lungimii șurubului de retenție va varia în funcție de configurația analizată și de componenta structurală evaluată.

Ipoteza de lucru pentru Studiul 3: restaurările abutment-free și cele convenționale restaurate pe Ti-base diferă în ceea ce privește pierderea procentuală a cuplului de strângere, aceasta fiind asociată cu particularitățile arhitecturii protetice și ale distribuției funcționale a forțelor ocluzale. Întrucât ambele configurații aparțin conceptului tissue-level, nu sunt anticipate diferențe sistematice la nivelul statusului periimplantar clinico-radiologic, al profilului microbiologic estimat prin qPCR sau al rezultatelor raportate de pacient.

3.2. Obiectivele cercetării

Obiectivul general al tezei este evaluarea comparativă a configurației TRI® Matrix® abutment-free și a sistemului TRI® Octa® restaurat pe Ti-base, prin integrarea analizei biomecanice, a evaluării clinico-funcționale și a perspectivei pacientului asupra tehnologiilor digitale utilizate în medicina dentară.

Obiectivele specifice au fost:

1. Evaluarea nivelului de cunoaștere, a expunerii anterioare și a percepțiilor pacienților față de tehnologiile digitale utilizate în medicina dentară.

2. Analiza biomecanică a configurației TRI® Matrix® abutment-free comparativ cu TRI® Octa® restaurat pe Ti-base, prin evaluarea influenței diametrului platformei protetice, a lungimii șurubului de retenție și a direcției de încărcare asupra distribuției tensiunilor în ansamblul implant-șurub-restaurare.

3. Evaluarea clinică a restaurărilor TRI® Matrix® și TRI® Octa® aflate în funcțiune, prin compararea pierderii procentuale a cuplului de strângere și corelarea acesteia cu parametrii ocluzali digitali, periimplantari, microbiologici și cu rezultatele raportate de pacient.

4. Studiul 1: Evaluarea cunoștințelor și percepțiilor pacienților față de tehnologiile digitale utilizate în medicina dentară modernă: studiu observațional transversal

4.1. Introducere. Scopul, ipoteza de lucru și obiectivele studiului

Datele disponibile privind percepțiile pacienților față de tehnologiile digitale stomatologice provin, în mare parte, din studii care analizează fie tehnologii specifice, precum inteligența artificială și robotica în medicina dentară, fie dimensiuni particulare ale interacțiunii pacientului cu informația medicală digitală, inclusiv social media, informația medicală online și instrumentele digitale de sănătate [34–38]. Alte lucrări au evidențiat rolul alfabetizării digitale în sănătate și al interesului pacienților pentru informația medicală disponibilă online, aspecte relevante pentru modul în care aceștia înțeleg și evaluează tehnologiile utilizate în practica stomatologică [39, 40]. În ansamblu, aceste studii nu oferă o evaluare integrată care să coreleze familiarizarea cu mai multe categorii de tehnologii stomatologice digitale, sursele de informare și variabilele de istoric clinic, precum numărul de dinți naturali prezenți, antecedentele de tratament protetic sau ortodontic și frecvența vizitelor stomatologice. Această limitare, discutată în Capitolul 1.3 în contextul acceptării digitalizării, reduce posibilitatea de a identifica factorii asociați cu disponibilitatea pacienților de a accepta tehnologiile digitale și de a adapta comunicarea clinică la profilul individual al acestora. Prezentul studiu urmărește să acopere această lacună printr-o evaluare transversală a cunoștințelor, atitudinilor și percepțiilor pacienților față de tehnologiile digitale utilizate în practica stomatologică actuală.

Scopul studiului a fost investigarea atitudinilor pacienților față de tehnologiile digitale utilizate în medicina dentară modernă, cu accent pe scanarea intraorală, CBCT și fluxurile CAD/CAM, precum și identificarea factorilor socio-demografici și clinici asociați cu acceptarea acestor tehnologii.

Pornind de la cadrul general al cercetării formulat în Capitolul 3.2 și de la datele din literatura de specialitate privind percepțiile pacienților asupra tehnologiilor digitale, sursele de informare medicală, influența mediului online și acceptarea inovațiilor digitale în medicina dentară [34, 36, 37, 41, 42], ipotezele de lucru ale studiului au fost:

1. pacienții au un anumit nivel de cunoștințe despre digitalizarea medicinei dentare, în concordanță cu datele din literatura de specialitate;

2. percepțiile pacienților sunt influențate atât de sursele profesionale, cât și de informația medicală disponibilă online, inclusiv social media;

3. atitudinea față de clinicile care utilizează tehnologii moderne este preponderent favorabilă, inclusiv în situațiile în care utilizarea acestor tehnologii poate implica costuri mai ridicate;

4. atitudinile pacienților față de tehnologiile digitale variază în funcție de vârstă, nivel educațional și experiența anterioară cu tratamentele stomatologice.

Obiectivele specifice ale studiului au fost:

- evaluarea gradului de familiarizare a pacienților cu tehnologiile digitale stomatologice și identificarea principalelor surse de informare raportate;
- analiza atitudinilor și percepțiilor față de tehnologiile digitale utilizate în practica stomatologică, din punct de vedere al: confortului perceput, siguranței, preciziei, caracterului minim invaziv, raportului cost–beneficiu și preferinței pentru clinici care utilizează tehnologii moderne;
- analiza asocierii atitudinilor cu profilul socio-demografic al participanților;
- analiza relației dintre atitudini și istoricul clinic stomatologic, inclusiv tipul tratamentelor anterioare și frecvența vizitelor;
- investigarea relației dintre expunerea anterioară la proceduri digitale specifice și acceptarea tehnologiilor moderne, inclusiv acceptarea unor costuri mai ridicate atunci când acestea sunt percepute ca justificate de calitatea tratamentului.

4.2. Materiale și metode

Studiul 1 a avut design observațional, descriptiv, transversal și s-a desfășurat în perioada 30 septembrie 2024 – 6 februarie 2025, în trei clinici stomatologice private din mediul urban (două în București, una în Galați). Echipa de cercetare a colectat datele printr-un chestionar digital autoadministrat. Selecția participanților s-a realizat prin eșantionare sistematică: fiecare al treilea pacient programat pe listele zilnice ale fiecărei clinici a fost invitat să participe.

Studiul a inclus pacienți cu vârsta de minimum 18 ani, capabili să înțeleagă și să completeze chestionarul digital, care și-au exprimat consimțământul informat. Au fost excluși pacienții care nu vorbeau limba română sau prezentau tulburări cognitive severe.

Chestionarul a cuprins 34 de itemi: secțiuni dedicate caracteristicilor socio-demografice, experiențelor stomatologice anterioare (Q1–Q19) și nivelului de cunoaștere și

atitudine față de tehnologiile digitale (Q20–Q34), pe o scală Likert în cinci trepte (1 = dezacord total; 5 = acord total). Instrumentul nu a inclus un test obiectiv de cunoștințe cu răspunsuri corecte prestabilite. Au fost identificate 31 de chestionare (7,8%) cu răspunsuri identice la toți itemii Likert (straightlining), acestea au fost incluse în analiza descriptivă, dar excluse din analizele comparative și corelaționale.

Cinci experți au evaluat chestionarul; indicele S-CVI/Ave a fost 0,92. Consistența internă evaluată pe 395 de chestionare complete a generat un coeficient Cronbach alfa de 0,926. Validitatea de construct a fost susținută de diferențe semnificative între subgrupuri demografice și de corelații Spearman pozitive și semnificative între toți itemii Q22–Q34 ($\rho = 0,18\text{--}0,74$; $p < 0,001$).

Au fost utilizate IBM SPSS 25, testele Mann–Whitney U și Kruskal–Wallis H cu post-hoc Dunn–Bonferroni și corelații Spearman. Pragul de semnificație statistică: $\alpha = 0,05$.

Studiul a fost aprobat de Comitetul de Etică al UMF „Carol Davila” București (Avizul nr. 16344).

4.3. Rezultate

Caracteristicile lotului. Lotul final a inclus 397 de chestionare valide. Respondenții de sex feminin au reprezentat 57,2% ($n = 226$). Cea mai reprezentată grupă de vârstă a fost 18–24 de ani (30,5%), urmată de 45–54 de ani (23,4%) și 35–44 de ani (22,4%). Majoritatea participanților proveneau din mediul urban (92,2%), 57,9% aveau studii superioare și 47,1% erau căsătoriți. Peste 85% s-au prezentat la medicul stomatolog în ultimele 12 luni; tratamentele protetice și ortodontice au fost raportate de aproximativ jumătate dintre respondenți, iar tratamentele implantare de aproape o treime.

Cunoaștere și atitudini generale. Dintre participanți, 85,6% declaraseră că auziseră despre digitalizarea stomatologiei, iar 61,2% că o înțeleg clar; 67,3% considerau că tehnologiile digitale pot aduce beneficii concrete în tratamentul stomatologic. Cele mai frecvente aplicații identificate au fost: tratamentele ortodontice (63,7%), planificarea chirurgicală (56,7%) și imagistica digitală (54,9%). Ca surse de informare, 56,9% indicau personalul medical și 44,8% internetul.

Scorurile itemilor Q20–Q34. Proporțiile cumulate de răspunsuri „acord” și „acord total” au depășit 80% pentru majoritatea itemilor. Cele mai mari scoruri medii au fost înregistrate pentru familiarizarea medicilor stomatologi cu progresele tehnologice (Q22), confortul pacientului asociat tehnologiilor digitale (Q23) și preferința pentru medici care utilizează tehnologii moderne (Q21). Itemii referitori la costuri au prezentat cele mai mari

proporții de răspunsuri neutre: Q25 – 30,0%; Q33 – 19,6%; Q34 – 18,6%. Proporțiile cumulate de acord au fost de 67,5% pentru Q25, 78,6% pentru Q33 și 77,6% pentru Q34.

Diferențe semnificative între subgrupuri. Vârsta a fost asociată cu diferențe semnificative pentru percepția preciziei tratamentului (Q29; $p = 0,035$): respondenții din grupa 45–54 de ani au obținut scoruri mai mari decât cei din 18–24 de ani ($p = 0,014$; $r = 0,226$). Statusul marital a fost asociat cu diferențe pentru Q25 ($p = 0,003$; respondenții căsătoriți > necăsătoriți), Q29 ($p = 0,018$) și Q33 ($p = 0,015$). Ultima vizită stomatologică a fost asociată cu diferențe pentru Q34 (vizită < 1 an > vizită > 5 ani; $p = 0,006$; $r = 0,183$). Vechimea relației pacient–clinică a influențat scorurile pentru Q21 ($p = 0,025$), Q23 ($p = 0,041$), Q24 ($p = 0,033$) și Q28 ($p = 0,007$): pacienții cu o relație sub un an au prezentat scoruri mai mari decât cei cu o relație de peste cinci ani. Pacienții cu tratamente ortodontice, protetice sau implantare anterioare au prezentat scoruri semnificativ mai mari pentru mai mulți itemi ($p < 0,05$ pentru fiecare categorie).

Corelații între itemii de tip Likert. Toate corelațiile Spearman dintre itemii Q22–Q34 au fost pozitive și semnificative statistic ($p < 0,001$), cu valori ρ între 0,231 și 0,741. Itemul Q34 a prezentat corelații mai mari cu itemii referitori la beneficii ($\rho = 0,343$ –0,525) decât itemul Q33 ($\rho = 0,181$ –0,299), sugerând că justificarea costurilor este mai strâns legată de calitatea percepută a tratamentului decât de percepția generală a costurilor.

4.4. Discuții

Pacienții au avut o atitudine predominant favorabilă față de tehnologiile digitale stomatologice, dar și o diferență între familiarizarea declarată și înțelegerea efectivă a indicațiilor și limitelor acestor tehnologii. Deși 85,6% dintre respondenți declarau că auziseră despre digitalizarea stomatologiei, doar 61,2% raportau o înțelegere clară a acesteia, ceea ce susține ideea că acceptarea nu presupune automat înțelegerea clinică.

Pacienții cu studii superioare și cu experiențe clinice anterioare (tratamente protetice, ortodontice sau implantare) au evaluat mai favorabil digitalizarea, concordant cu observația că expunerea clinică sau tehnologică anterioară poate facilita acceptarea soluțiilor digitale, observație susținută și de datele lui Yi și Choi privind influența experienței anterioare cu tehnologiile digitale asupra intenției de adoptare a inovațiilor [43]. Respondenții mai tineri nu au acordat constant scoruri mai mari tuturor beneficiilor atribuite tehnologiei digitale, ceea ce nu susține o relație liniară simplă între vârstă și acceptarea digitalizării.

Implicația clinică principală este că integrarea fluxurilor digitale în practica stomatologică trebuie însoțită de o comunicare clinică structurată, adaptată nivelului de

înțelegere al pacientului. Medicul stomatolog rămâne principala sursă de informare (56,9%), conferind consultației un rol educațional care depășește simpla descriere a procedurii.

Limitele studiului includ recrutarea exclusivă din clinici private urbane, natura auto-raportată a datelor, riscul de bias de acord în răspunsurile la scale Likert orientate pozitiv și absența validării externe a instrumentului. Rezultatele descriu percepțiile unui lot specific și nu pot fi generalizate la întreaga populație.

4.5. Concluzii parțiale

Studiul a identificat o atitudine predominant favorabilă a pacienților față de tehnologiile digitale utilizate în practica stomatologică modernă. Beneficiile percepute au fost asociate cel mai frecvent cu precizia tratamentului, confortul și estetica restaurărilor. În contextul tezei, datele obținute oferă perspectiva pacientului asupra tehnologiilor digitale care stau la baza fluxurilor moderne de tratament implantoprotetic.

5. Studiul 2: Analiza biomecanică prin metoda elementelor finite a unei configurații implantoprotetice fără bont protetic comparativ cu o configurație tissue-level restaurată pe bază de titan

5.1. Introducere. Ipoteza de lucru și obiective specifice

Arhitectura conexiunii protetice influențează modul în care solicitările ocluzale se distribuie în ansamblul implant–restaurare. Prezența sau absența unei componente protetice intermediare, diametrul platformei protetice și preîncărcarea șurubului pot modifica localizarea și amplitudinea vârfurilor de tensiune, mai ales în condiții de solicitare neaxială [44–46]. Compararea prin analiză cu elemente finite a două configurații tissue-level din aceeași familie de sisteme, dar cu arhitecturi protetice diferite, permite evaluarea efectului asociat eliminării componentei intermediare, cu reducerea influenței altor factori de design.

Comparațiile FEA intra-brand între o configurație tissue-level fără bont protetic și un sistem cu bază de titan antirotațională, realizate în condiții numerice identice și incluzând sistematic influența diametrului platformei și a lungimii șurubului de retenție, rămân limitate în literatura de specialitate [31, 47–51]. Studiile disponibile au abordat fie geometrii generice, fie sisteme cu producători diferiți, ceea ce limitează transferabilitatea rezultatelor la configurații specifice. Datele FEA pentru designul abutment-free indică tensiuni mai mari la nivelul implantului și osului cortical față de sistemele cu bont, mai ales sub încărcări oblice. Comparabilitatea acestor rezultate depinde însă de armonizarea condițiilor de încărcare și a definițiilor de contact.

Sistemele analizate aparțin aceleiași familii TRI Dental Implants Int. AG (Hünenberg, Elveția). TRI® Matrix® este o platformă tissue-level fără bont protetic, concepută pentru fixarea directă a restaurărilor monolitice din zirconiu prin șurub de retenție, fără Ti-base și fără cimentare. TRI® Octa®, restaurat cu bază de titan antirotațională și coroană din zirconiu, a fost utilizat ca referință intra-brand. Variabilele de design evaluate în cadrul conceptului abutment-free au fost diametrul platformei protetice (P37 și P45) și lungimea șurubului de retenție (scurt și lung), fiecare combinație constituind o configurație distinctă [4, 52, 53].

Scopul studiului a fost compararea biomecanică, prin analiză tridimensională cu elemente finite, a configurației TRI® Octa® restaurate pe bază de titan antirotațională (Ti-base) cu patru configurații TRI® Matrix® fără bont protetic, diferite prin diametrul platformei protetice și lungimea șurubului de retenție. Comparația a urmat un protocol

numeric standardizat în două etape: aplicarea unui cuplu de strângere de 35 N·cm pentru generarea preîncărcării, urmată, în scenarii separate, de aplicarea unei încărcări axiale de 400 N și a unei încărcări oblice de 300 N la 30°. Analiza a urmărit identificarea zonelor de concentrare a tensiunilor la nivelul implantului, al coroanei din zirconiu și, exclusiv pentru configurația TRI® Octa®, al bazei de titan.

Ipoteza de lucru: eliminarea bazei de titan în configurațiile TRI® Matrix® fără bont protetic modifică distribuția tensiunilor comparativ cu configurația TRI® Octa® restaurată pe bază de titan antirotațională (Ti-base). S-a presupus că amplitudinea și localizarea acestor modificări depind de diametrul platformei protetice, de lungimea șurubului de retenție și de direcția încărcării. Încărcarea oblică a fost considerată scenariul mecanic cel mai solicitant, prin generarea unui moment de încovoiere la nivelul platformei implantare, al gâtului implantului și al primelor filete.

Obiectivele specifice ale studiului au fost:

1. compararea distribuției tensiunilor între configurația TRI® Octa® restaurată pe bază de titan antirotațională și configurațiile TRI® Matrix® fără bont protetic, în condiții numerice standardizate;
2. analiza influenței diametrului platformei protetice, prin compararea configurațiilor TRI® Matrix® P37 și P45;
3. analiza influenței lungimii șurubului de retenție asupra traseului de transfer al solicitărilor și asupra concentrărilor de tensiune din zona platformei implantare, a elementelor antirotaționale și a canalului de acces al coroanei;
4. compararea răspunsului biomecanic după preîncărcarea șurubului, sub încărcare axială de 400 N și sub încărcare oblică de 300 N la 30°;
5. identificarea zonelor de concentrare a tensiunilor la nivelul implantului, coroanei din 3Y-TZP și, exclusiv pentru configurația TRI® Octa®, al bazei de titan.

Modelele au fost analizate în regim liniar-elastic. Încărcarea oblică la 30°, aliniată geometric standardului ISO 14801:2016, a fost aleasă pentru reproducerea unui braț de pârghie nefavorabil clinic [54].

5.2. Materiale și metode

Modelele CAD și configurațiile. Modelele CAD ale componentelor au provenit din geometriile producătorului, furnizate în format STEP. Studiul a analizat cinci configurații: TRI® Octa® cu Ti-base Engaging și coroană ZrO₂ 3Y-TZP; TRI® Matrix® P37 + coroană ZrO₂ + șurub scurt; TRI® Matrix® P37 + coroană ZrO₂ + șurub lung; TRI® Matrix® P45 +

coroană ZrO₂ + șurub scurt; TRI® Matrix® P45 + coroană ZrO₂ + șurub lung. Coroanele protetice au fost generate ca volume solide cu simetrie axială.

Proprietățile materialelor. Toate materialele au fost modelate ca omogene, izotrope și liniar elastice. ZrO₂ 3Y-TZP: $E = 200$ GPa, $\sigma_y = 1100$ MPa, $\sigma_u = 1500$ MPa; Ti-6Al-4V: $E = 110$ GPa, $\sigma_y = 800$ MPa, $\sigma_u = 1000$ MPa; os cortical: $E = 15$ GPa; os trabecular: $E = 7$ GPa. Coeficientul Poisson: $\nu = 0,30$ pentru toate materialele.

Interfețe mecanice. Contacte neliniare suprafață–suprafață cu frecare ($\mu = 0,10$) la interfețele coroană–implant, șurub–coroană și implant–Ti-base; contacte solidarizate (bonded) la interfețele coroană–compozit, coroană–Ti-base (interfață cimentată) și implant–os (osteointegrare completă asumată).

Discretizare și preîncărcare. Elemente SOLID187 tetraedrice cuadratice; dimensiunea globală 0,5 mm; rafinări locale 0,06–0,20 mm la interfețele de contact. Numărul de elemente: 376.140–698.101, în funcție de configurație. Preîncărcarea (Pasul 1): forță axială de 812 N în tija șurubului, corespunzătoare $T_0 = 35$ N·cm, calculată conform Tohnichi Torque Handbook.

Protocoloalele de încărcare. Forțele ocluzale (Pasul 2) au fost aplicate pe o suprafață circulară cu raza $R = 1,25$ mm centrată pe axul canalului de acces al șurubului: forță axială de 400 N și forță oblică de 300 N la 30° în plan buco-lingual, aliniată geometric standardului ISO 14801:2016. Analiza a fost realizată în regim liniar-elastic cvasistatic; încărcarea ciclică nu a fost simulată.

Regiunile de interes. Gâtul și platforma implantului, geometria elementului antirotațional, canalul de acces al șurubului la nivelul coroanei și interfețele neliniare specifice fiecărei configurații. Pentru componente metalice: tensiunea echivalentă von Mises. Pentru coroane din 3Y-TZP: tensiunile principale σ_1 și σ_3 . Tensiunea admisibilă pentru Ti-6Al-4V: $\sigma_{adm} = \sigma_y/SF = 800/1,6 = 500$ MPa.

5.3. Rezultate

Distribuția tensiunilor. În toate cele cinci configurații, forța oblică de 300 N la 30° a constituit scenariul mecanic cel mai solicitant, generând valorile maxime ale tensiunilor și măbind extinderea zonelor cu valori ridicate față de forța axială de 400 N.

Tensiunile la nivelul implantului ($\sigma_{VM,max}$). Sub preîncărcare: TRI® Octa® = 602,0 MPa; TRI® Matrix® P37-S = 1086,0 MPa (+80,4% față de Octa); TRI® Matrix® P45-S = 665,0 MPa (+10,5%). Sub încărcare axială de 400 N: TRI® Octa® = 745,0 MPa; P37-S = 1393,0 MPa (+87,0%); P45-S = 744,0 MPa (–0,1%). Sub încărcare oblică de 300

N la 30°: TRI® Octa® = 1124,0 MPa; P37-S = 2493,3 MPa (+121,8%); P37-L = 1959,0 MPa (+74,3%); P45-S = 1056,0 MPa (-6,0%); P45-L = 1129,0 MPa (+0,4%). Configurațiile P37 au concentrat tensiunile la gâtul implantului și primul filet, la interfața cu osul cortical; configurația TRI® Octa® a prezentat vârfuri localizate la degajarea internă și interfața antirotațională.

Tensiunile la nivelul coroanelor din 3Y-TZP ($\sigma_{VM,max}$). Configurațiile P45 au prezentat valorile cele mai mari: TRI® Matrix® P45-L = 773,0 MPa la preîncărcare (+132,8% față de Octa), 1110,0 MPa sub încărcare axială (+166,8%) și 1462,0 MPa sub încărcare oblică (+230,8%); TRI® Matrix® P45-S = 1024,0 MPa sub încărcare oblică (+131,7%). Tensiunile de tracțiune (σ_1) s-au menținut sub reperele de rezistență ale materialului în toate configurațiile, cu localizare strict în zona elementului antirotațional, fără extindere relevantă în masa ceramicii.

Tensiunile la nivelul Ti-base-ului (exclusiv TRI® Octa®): $\sigma_{VM,max}$ = 742,0 MPa la preîncărcare; 748,0 MPa sub încărcare axială; 1221,0 MPa sub încărcare oblică: valori localizate la muchii și colțuri geometrice pe volume reduse.

Influența diametrului platformei și a lungimii șurubului. Creșterea diametrului de la P37 la P45 a redistribuit solicitările dinspre gâtul implantului (critic în P37) către elementul antirotațional al coroanei (critic în P45), fără o reducere globală a solicitării. Lungimea șurubului a modulat amplitudinea diferit în funcție de platformă: în P45, șurubul lung a accentuat concentrările în coroană (~438 MPa diferență sub oblică); în P37, șurubul lung a redus $\sigma_{VM,max}$ la nivelul implantului sub încărcare oblică (1959,0 vs. 2493,3 MPa).

5.4. Discuții

Constatarea principală este că răspunsul biomecanic al ansamblurilor analizate a fost influențat în principal de direcția încărcării și de arhitectura interfeței implant-șurub-restaurare. Configurațiile P37 sunt mai vulnerabile la solicitările oblice la nivel implantar; P45 reduce solicitarea cervicală a implantului, dar accentuează concentrările locale în coroana din 3Y-TZP; TRI® Octa® prezintă vârfuri tensionale cu extindere volumetrică redusă. Aceste tipare nu implică superioritatea globală a uneia dintre configurații, ci o diferență de comportament mecanic dependentă de scenariul ocluzal.

Implicația clinică principală este că planificarea protetică prechirurgicală are o relevanță suplimentară în restaurările abutment-free. Absența unui bont protetic intermediar elimină posibilitatea compensării axiale a poziției implantului; axul de inserție determină direct orientarea elementului antirotațional. Evaluarea prechirurgicală a axului protetic, a

morfologiei ocluzale și a componentelor oblice ale solicitării poate reduce tensiunile la nivelul zonelor identificate ca critice prin FEA.

Limitele studiului includ modelarea materialelor ca omogene și liniar elastice, absența modelării explicite a filetelor, protocolul de încărcare standardizat care nu reproduce variabilitatea contactelor ocluzale reale și absența validării experimentale directe. Analiza în regim quasistatic nu permite predicția duratei de viață la oboseală.

5.5. Concluzii parțiale

În toate configurațiile, forța oblică de 300 N la 30° a generat tensiuni sistematic mai mari decât forța axială de 400 N, cu vârfuri localizate la nivelul gâtului implantului și al primului filet, respectiv în zona elementelor antirotaționale și a canalului de acces al șurubului.

La nivelul implantului, configurațiile P37 au reprezentat scenariul critic sub încărcare oblică, cu tensiuni maxime la gâtul implantului și primul filet. Configurațiile P45 au prezentat valori comparabile cu TRI® Octa în același scenariu, cu redistribuirea solicitărilor dinspre regiunea cervicală spre coroană. La nivelul coroanei din 3Y-TZP, tensiunile de tracțiune au apărut strict local în zona elementelor antirotaționale, fără extindere în masa ceramică; P45-L a concentrat cele mai mari vârfuri în această regiune. Creșterea diametrului platformei de la P37 la P45 indică un transfer al zonei critice dinspre implant spre coroană, nu o reducere globală a solicitării. Lungimea șurubului a modulat amplitudinea efectului, mai ales în P45. Configurațiile fără bont protetic au deplasat vârfurile de tensiune dinspre degajarea internă a implantului (tipică pentru TRI® Octa) spre gâtul implantului și primul filet. Alegerea dintre P37 și P45 trebuie corelată cu direcția dominantă a solicitărilor funcționale anticipate. Concluziile sunt condiționate de limitele unui model static idealizat și necesită validare prin testare la oboseală și date clinice prospective.

6. Studiul 3: Pierderea cuplului de strângere și parametrii clinico-biologici periimplantari în restaurările pe implanturi tissue-level fără bont protetic versus tissue-level convențional: studiu observațional comparativ

6.1. Introducere

Acest studiu clinic reprezintă etapa de evaluare in vivo a conceptului implantoprotetic fără bont protetic, completând celelalte două direcții de cercetare prin evaluarea restaurărilor aflate în funcțiune, în condiții reale.

Ambele sunt sisteme tissue-level, dar diferă prin arhitectura conexiunii protetice: TRI® Matrix® permite fixarea directă a restaurării la nivelul implantului, fără bont protetic intermediar, în timp ce TRI® Octa® utilizează o bază de titan (Ti-base) ca element intermediar [4, 5, 53]. Implicațiile clinice potențiale ale acestor diferențe au fost discutate în detaliu în Capitolul 5.

Parametrul mecanic central al evaluării este pierderea cuplului de strângere a șurubului protetic, determinată pe baza Reverse Torque Value. Spre deosebire de valoarea absolută RTV, pierderea procentuală calculată față de cuplul inițial permite compararea restaurărilor cu valori-țintă diferite, ceea ce este o distincție metodologică necesară în evaluarea comparativă a două sisteme cu specificații protetice distincte [12, 19, 20].

Alături de evaluarea mecanică, protocolul a inclus analiza ocluzală digitală, parametrii clinico-radiologici periimplantari, estimarea încărcăturii bacteriene prin qPCR și rezultatele raportate de pacient [2, 3, 15, 25, 27, 55]. Aceste componente au fost incluse datorită interdependenței lor clinice: pierderea de cuplu nu poate fi interpretată în absența contextului ocluzal în care se produce, statusul periimplantar nu poate fi disociat de stabilitatea conexiunii protetice, iar percepția pacientului captează dimensiuni inaccesibile examinării obiective.

Datele clinice comparative privind restaurările tissue-level fără bont protetic intermediar și cele mediate de Ti-base sunt încă limitate, mai ales în privința pierderii cuplului de strângere și a relației acesteia cu distribuția ocluzală digitală și parametrii clinico-biologici periimplantari.

Scopul studiului a fost evaluarea clinică comparativă a restaurărilor protetice pe implanturi TRI® Matrix® și TRI® Octa®, prin corelarea stabilității mecanice a șurubului protetic și a relației acesteia cu forțele ocluzale, parametrii clinico-radiologici periimplantari, încărcătura bacteriană periimplantară estimată și rezultatele raportate de pacient.

Ipoteza de lucru a studiului a fost că restaurările abutment-free și cele convenționale restaurate pe Ti-base diferă în ceea ce privește pierderea procentuală a cuplului de strângere, această diferență fiind asociată cu particularitățile arhitecturii protetice și ale distribuției funcționale a forțelor ocluzale. Deoarece ambele configurații aparțin conceptului tissue-level, nu au fost anticipate diferențe sistematice la nivelul statusului periimplantar clinicoradiologic, al profilului microbiologic estimat prin qPCR sau al rezultatelor raportate de pacient.

Obiectivul principal al studiului a fost compararea pierderii procentuale a cuplului de strângere între restaurările pe implanturi TRI® Matrix® și TRI® Octa®.

Obiectivele secundare ale studiului au fost:

- evaluarea parametrilor mecanici secundari, reprezentați de Reverse Torque Value și de pierderea absolută de cuplu;
- analiza evenimentelor protetice și ocluzale și a relației acestora cu parametrii mecanici;
- evaluarea digitală a ocluziei cu ajutorul OccluSense și analiza relației dintre supraîncărcarea ocluzală în regiunea implantului și pierderea cuplului de strângere;
- compararea parametrilor clinici periimplantari între cele două grupuri;
- evaluarea pierderii osoase marginale periimplantare și a relației acesteia cu parametrii clinici și microbiologici;
- analiza încărcăturii bacteriene periimplantare estimate prin qPCR, exprimată ca echivalent CFU, și corelarea acesteia cu statusul clinic periimplantar;
- evaluarea rezultatelor raportate de pacient prin scoruri VAS privind funcția, țesuturile moi, igienizarea, estetica și satisfacția globală.

Studiul nu urmărește demonstrarea superiorității unuia dintre cele două sisteme. Având în vedere designul observațional transversal, rezultatele studiului trebuie interpretate ca diferențe și asocieri clinice, nu ca relații cauzale directe.

6.2. Materiale și metode

Design și desfășurare. Studiul 3 a avut design observațional analitic transversal, comparativ, cu două grupuri. Cercetarea s-a desfășurat în perioada 29.01.2026–21.03.2026, într-o clinică privată din București, cu aprobarea Subcomisiei de Etică a UMF „Carol Davila” (Avizul nr. 2069/29.01.2026). Raportarea a urmat recomandările STROBE.

Lotul de studiu. Analiza a inclus 94 de pacienți și 94 de implanturi, cu un singur implant per pacient: 47 restaurări TRI® Matrix® (grupul Matrix) și 47 restaurări TRI® Octa® (grupul Octa). Criteriile de includere au vizat vârsta de minimum 18 ani, restaurări înșurubate cu acces la canalul șurubului, absența mobilității clinice și funcție de minimum 12 luni.

Evaluarea pierderii cuplului de strângere. RTV a fost determinat cu o cheie dinamometrică manuală TRI® Torque Wrench (interval 10–45 N·cm). Cuplul recomandat de producător: 30 N·cm pentru Ti-base Octa; 15–35 N·cm pentru restaurările directe Matrix (variabil în funcție de componentă). Pierdere procentuală: $\% \text{ pierdere} = (T_0 - \text{RTV}) / T_0 \times 100$. Valorile RTV = 0 N·cm (restaurări complet deșurubate) au fost păstrate ca valori clinice reale.

Evaluarea ocluzală digitală. OccluSense® (Dr. Jean Bausch GmbH & Co. KG, Köln); senzori 60 μm; trei înregistrări consecutive în intercuspidare maximă. Variabila exploratorie „OccluSense overload regiune implant exploratoriu” a fost codificată prin corelarea înregistrărilor digitale cu marcajul clinic vizibil (criteriu primar: marcaj roșu în ≥ 2 din 3 înregistrări).

Evaluarea clinică periimplantară. Indicele de placă modificat (mPI, scor 0–3), sângerarea la sondare (BoP, 6 puncte/implant), adâncimea maximă de sondare (PD maxim), supurație, lățimea mucoasei keratinizate (KM). Pierdere osoasă marginală (MBL) evaluată pe CBCT din dosarul clinic (aparatură Cranex 3D, software OnDemand3D): MBL mediu (media valorilor meziale și distale) și MBL maxim (valoarea maximă), exprimate în milimetri de la platforma implantului la primul contact os–implant vizibil radiologic.

Evaluarea microbiologică. Panelul ParoIDENT Extra 12 (Genetic Lab SRL), 12 specii bacteriene prin qPCR cu confirmare HRM. Formula de estimare: $10^{((C_q - 33,39) / -3,102)} \times 16$ [CFUeq]. Variabile agregate: patogeni parodontali majori (Aa + Pg + Td + Tf), complex roșu (Pg + Td + Tf), complex portocaliu (Ec + Cr + Pi + Fn + Pn), total panel transformat logaritmic $\log_{10}(\text{sumă} + 1)$. Numărul speciilor cu nivel „RIDICAT” (conform pragurilor Genetic Lab): variabilă sintetică de severitate.

Evaluarea VAS. Nouă itemi VAS (0–10), toți orientați în aceeași direcție (scoruri mai mari = rezultat mai favorabil): scor funcțional compus (VAS1–VAS4), scor pentru țesuturi moi/igienizare (VAS5–VAS7), satisfacție estetică (VAS8) și satisfacție globală (VAS9).

Analiza statistică. IBM SPSS 25. Variabila principală binară (pierdere >30%) a fost analizată prin regresie logistică binară; modelul principal a inclus sistemul implantar și timpul de la încărcarea protetică. Prag de semnificație: $\alpha = 0,05$.

6.3. Rezultate

Caracteristicile lotului. Vârsta mediană: 59 de ani (IQR 48–71). Sexul feminin mai frecvent în Octa față de Matrix (70,2% vs. 48,9%; $p = 0,036$). Implanturile Matrix mai frecvent maxilare (70,2% vs. 38,3%; $p = 0,004$) și mai frecvent frontale sau premolare (23,4% frontale vs. 4,3% în Octa); implanturile Octa mai frecvent molare (61,7% vs. 25,5%; $p < 0,001$). Tipul antagonistului diferit semnificativ ($p = 0,002$): dinte natural mai frecvent în Matrix (34% vs. 12,8%), coroana pe dinte mai frecventă în Octa (51,1% vs. 19,1%). Timpul de la încărcarea protetică: mediană 24,7 luni în Matrix față de 39,3 luni în Octa ($p = 0,117$). Bruxism/parafuncție: 10,6% Matrix vs. 2,1% Octa ($p = 0,203$).

Pierderea procentuală a cuplului de strângere. Matrix: mediană 25% (IQR 16,7–40); Octa: mediană 40% (IQR 20–50); $p = 0,022$ (testul Mann–Whitney U). Diferența absolută: 15 puncte procentuale. Pierderea $>30\%$: 72,3% în Octa (34/47) vs. 46,8% în Matrix (22/47); diferența absolută 25,5 puncte procentuale. AUC ROC = 0,636 (IC 95% 0,523–0,748; $p = 0,023$); prag operațional 29,17% (sensibilitate 72,3%, specificitate 53,2%).

Modele logistice: OR univariabil Octa vs. Matrix = 2,972 (IC 95% 1,260–7,012; $p = 0,013$). Model principal ajustat pentru timp de la încărcare: OR = 3,128 (IC 95% 1,292–7,572; $p = 0,011$). Analiza de sensibilitate cu ajustare pentru regiunea anatomică: OR = 2,462 (IC 95% 0,961–6,311; $p = 0,061$). Timpul de la încărcarea protetică nu s-a asociat semnificativ cu pierderea de cuplu (nici continuu, nici categorial).

Parametrii mecanici secundari. RTV absolut: Matrix mediană 15 N·cm (IQR 10–25); Octa mediană 15 N·cm (IQR 15–20); $p = 0,721$. ΔT : Matrix mediană 5 N·cm (IQR 5–10); Octa mediană 10 N·cm (IQR 5–15); $p < 0,001$. Analiza ROC pentru ΔT : prag 7,5 N·cm, AUC = 0,704 (IC 95% 0,597–0,810; $p = 0,001$). OR pentru $\Delta T > 7,5$ N·cm: 3,854 (IC 95% 1,623–9,152; $p = 0,002$) în modelul univariabil; 3,752 (IC 95% 1,554–9,059; $p = 0,003$) după ajustare pentru timp.

Evenimente protetice și ocluzale. Variabila compozită „eveniment protetic sau ocluzal”: 57,4% Matrix vs. 61,7% Octa ($p = 0,834$). Componente individuale: deșurubări anterioare 19,1% vs. 12,8% ($p = 0,574$); chipping/fractură ceramică 14,9% în ambele grupuri ($p = 1,000$); ajustări ocluzale majore 51,1% în ambele ($p = 1,000$). Singura diferență semnificativă: refacere coroană 12,8% Matrix vs. 0% Octa ($p = 0,026$), cu număr insuficient pentru concluzii.

Evaluarea ocluzală digitală. Frecvența supraîncărcării exploratorii: 40,4% Matrix vs. 55,3% Octa ($p = 0,215$). Asocieri cu parametrii mecanici pentru variabila OccluSense overload exploratorie: RTV semnificativ mai mic (mediană 15 vs. 20 N·cm; $p < 0,001$), ΔT

mai mare (mediană 10 vs. 5 N·cm; $p < 0,001$) și pierdere procentuală mai mare (mediană 50% vs. 25%; $p < 0,001$). OR pentru pierdere $>30\%$ asociat supraîncărcării exploratorii: 3,793 (IC 95% 1,569–9,170; $p = 0,003$) univariabil; 3,968 (IC 95% 1,608–9,792; $p = 0,003$) ajustat pentru timp. OR pentru deșurubări anterioare asociat supraîncărcării: 4,343 (IC 95% 1,204–15,671; $p = 0,025$), ajustat pentru sistem și timp. Supraîncărcarea nu s-a asociat semnificativ cu parametrii clinici periimplantari, MBL sau qPCR.

Parametrii clinici periimplantari. Nu s-au observat diferențe semnificative între grupuri pentru: mPI ($p = 0,096$), BoP prezent (63,8% Matrix vs. 48,9% Octa; $p = 0,212$), PD maxim (mediană 3 mm în ambele; $p = 0,550$), supurație (10,6% Matrix vs. 23,4% Octa; $p = 0,169$), categoria KM ($p = 0,828$). MBL maxim: mediană 0,10 mm Matrix vs. 0,45 mm Octa; $p = 0,052$. MBL maxim s-a corelat pozitiv cu BoP % ($\rho = 0,314$; $p = 0,002$), PD maxim ($\rho = 0,317$; $p = 0,002$) și cu pierderea procentuală de cuplu ($\rho = 0,264$; $p = 0,010$).

Model multivariabil de regresie liniară pentru MBL maxim: sistemul Octa ($p = 0,715$) și timpul de la încărcarea protetică ($p = 0,565$) nu au rămas asociați semnificativ. PD maxim ($B = 0,213$; IC 95% 0,113–0,312; $p < 0,001$) și numărul de specii bacteriene cu nivel ridicat ($B = 0,095$; IC 95% 0,003–0,187; $p = 0,043$) au rămas predictorii independenți.

Analiza microbiologică. Nu s-au observat diferențe semnificative între grupuri pentru niciunul dintre indicatorii microbiologici agregați: patogeni parodontali majori $\log_{10}$ (mediană 3,13 Matrix vs. 4,19 Octa; $p = 0,397$), complex portocaliu $\log_{10}$ ($p = 0,721$), complex roșu+portocaliu $\log_{10}$ ($p = 0,382$), total panel $\log_{10}$ ($p = 0,543$). Singura corelație semnificativă cu parametrii mecanici: patogeni parodontali majori și ΔT ($\rho = 0,225$; $p = 0,029$).

Implanturile cu supurație au prezentat valori semnificativ mai mari ale patogenilor parodontali majori (mediană $\log_{10}$ 5,29 vs. 2,95; $p < 0,001$) și ale complexului roșu+portocaliu (mediană $\log_{10}$ 5,43 vs. 4,21; $p = 0,002$). Model multivariabil pentru supurație: patogeni parodontali majori $\log_{10}$ (OR = 2,027; IC 95% 1,261–3,259; $p = 0,004$) a fost singurul predictor semnificativ; sistemul Octa ($p = 0,123$) și timpul ($p = 0,129$) nu au rămas semnificativi.

Rezultatele raportate de pacient. Scorurile VAS au fost ridicate în ambele grupuri. Fără diferențe semnificative pentru scorurile compozite principale: scor funcțional (Matrix: mediană 9; Octa: mediană 9,25; $p = 0,395$), scor țesuturi moi/igienizare ($p = 0,737$), satisfacție estetică ($p = 0,669$), satisfacție globală ($p = 0,949$). Singura diferență semnificativă: itemul individual „absența durerii la masticatie” (Matrix: 9 vs. Octa: 10; $p = 0,040$), care este o observație exploratorie izolată.

Corelații semnificative cu parametrii obiectivi: scorul funcțional cu pierderea procentuală de cuplu ($\rho = -0,598$; $p < 0,001$) și cu ΔT ($\rho = -0,486$; $p < 0,001$); scorul pentru țesuturi moi/igienizare cu BoP % ($\rho = -0,559$; $p < 0,001$), PD maxim ($\rho = -0,490$; $p < 0,001$), MBL maxim ($\rho = -0,386$; $p < 0,001$) și patogeni parodontali majori $\log_{10}$ ($\rho = -0,496$; $p < 0,001$). Satisfacția globală s-a asociat negativ cu BoP % ($\rho = -0,315$; $p = 0,002$), PD maxim ($\rho = -0,285$; $p = 0,005$) și MBL mediu ($\rho = -0,250$; $p = 0,015$). Scorurile VAS funcționale mai mici în cazurile cu supraîncărcare exploratorie prezentă (mediană 8,5 vs. 9,75; $p < 0,001$).

6.4. Discuții

Pierderea procentuală mai mare a cuplului în grupul Octa trebuie interpretată în raport cu relaxarea progresivă a preîncărcării. Proporția mai ridicată de restaurări molare în Octa (61,7% față de 25,5% în Matrix) reprezintă un factor de confundare: această regiune implică forțe masticatorii mai mari și brațe de pârghie ocluzale mai nefavorabile, adică scenariul critic identificat prin FEA la încărcare oblică. Atenuarea asocierii Octa–pierdere de cuplu după includerea regiunii implantului (de la OR = 3,128 la OR = 2,462, la limita semnificației statistice) confirmă că distribuția anatomică a contribuit parțial la rezultatul mecanic observat, fără a elimina direcția asocierii.

RTV absolut, analizat izolat, nu a diferențiat sistemele: două restaurări cu același RTV pot avea semnificații mecanice diferite dacă au T_0 diferite. ΔT și pierderea procentuală caracterizează mai fidel relaxarea preîncărcării și permit comparații inter-sistem. Absența corelației semnificative dintre durata de funcționare și parametrii mecanici (RTV: $\rho = -0,032$; ΔT : $\rho = 0,186$; pierdere procentuală: $\rho = 0,132$) sugerează că, în lotul analizat, alți factori (distribuția anatomică, contactele ocluzale) au explicat mai bine variabilitatea mecanică decât durata de funcționare.

Variabila OccluSense exploratorie s-a asociat cu parametri mecanici mai nefavorabili și cu deșurubări anterioare mai frecvente, independent de sistemul implantar, fără asociere cu parametrii clinico-biologici periimplantari. Această disociere justifică evaluarea prospectivă a analizei ocluzale digitale ca instrument de monitorizare a stabilității conexiunii protetice.

Parametrii clinici periimplantari comparabili între Matrix și Octa și absența asocierii semnificative a sistemului implantar cu MBL maxim în modelul multivariabil susțin că statusul periimplantar a depins de parametrii clinico-biologici locali (PD maxim, numărul de specii cu nivel ridicat), nu de arhitectura protetică. Scorurile VAS ridicate și comparabile

în ambele grupuri susțin că diferențele mecanice măsurabile nu s-au tradus în percepții globale diferite ale pacienților.

6.5. Concluzii parțiale

Pierderea procentuală a cuplului a fost semnificativ mai mare la TRI® Octa® față de TRI® Matrix® (mediană 40% vs. 25%; $p = 0,022$), cu asociere menținută după ajustarea pentru durata funcțională ($OR = 3,128$; $p = 0,011$), atenuată parțial după includerea regiunii anatomice. Supraîncărcarea ocluzală exploratorie s-a asociat independent cu parametri mecanici mai nefavorabili și cu deșurubări anterioare mai frecvente, fără asociere cu statusul biologic periimplantar. Parametrii clinici periimplantari, profilul microbiologic și scorurile VAS compozite nu au diferit semnificativ între grupuri; scorul funcțional VAS s-a corelat cu pierderea mecanică, iar scorul pentru țesuturi moi și igienizare cu parametrii clinico-biologici locali.

Datele nu susțin superioritatea globală a unuia dintre sisteme. TRI® Matrix® și TRI® Octa® sunt arhitecturi cu particularități mecanice și clinice proprii. Caracterizarea distinctă a fiecăruia este mai utilă clinic decât o ierarhizare simplificată. Designul transversal al studiului exclude stabilirea succesiunii temporale și demonstrarea cauzalității; sunt necesare studii prospective cu loturi echilibrate anatomic și urmărire standardizată.

7. CONCLUZII GENERALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

7.1. Sinteză a cercetării doctorale

Cercetarea doctorală a urmărit evaluarea reabilitărilor protetice pe implanturi dentare în era digitală prin trei componente complementare: percepția pacientului asupra tehnologiilor digitale, predicția biomecanică a comportamentului ansamblurilor implant–restaurare și evaluarea clinică a restaurărilor aflate în funcțiune. Sistemul TRI® Matrix® a fost analizat ca model al conceptului abutment-free, iar TRI® Octa® restaurat pe Ti-base a fost utilizat ca termen de comparație pentru configurația tissue-level convențională. Rezultatele celor trei studii au fost integrate narativ, deoarece designurile și tipurile de date nu permit reunirea într-un model statistic unic.

7.2. Concluzii generale raportate la obiectivele cercetării

Obiectivul 1 – Percepțiile pacienților față de tehnologiile digitale stomatologice (Capitolul 4). Percepțiile au fost predominant favorabile, cu beneficii asociate cel mai frecvent preciziei tratamentului, confortului și esteticii restaurărilor. Familiarizarea declarată a depășit înțelegerea efectivă a indicațiilor și limitelor. Percepțiile au variat semnificativ în funcție de vârstă, nivel educațional și experiența clinică anterioară: pacienții cu studii superioare, antecedente de tratament protetic sau ortodontic și relație mai recentă cu clinica au evaluat mai favorabil fluxurile digitale. Pacienții au considerat costurile mai ridicate acceptabile atunci când le-au asociat cu beneficii clinice clare. Medicul stomatolog a rămas principala sursă de informare, conferind consultației un rol educațional semnificativ.

Obiectivul 2 – Evaluarea biomecanică prin FEA (Capitolul 5). Direcția de încărcare a fost factorul dominant în răspunsul biomecanic al tuturor configurațiilor. Forța oblică de 300 N la 30° a generat solicitări sistematic mai mari decât forța axială de 400 N, cu vârfuri la nivelul gâtului implantului, al primului filet și al elementelor antirotaționale ale coroanei din 3Y-TZP. Eliminarea bontului protetic intermediar nu a eliminat zonele de concentrare a tensiunilor, ci le-a redistribuit: configurațiile P37 au fost critice la nivelul implantului sub încărcare oblică, iar configurațiile P45 au prezentat valori comparabile cu TRI® Octa® la nivelul implantului, dar cu concentrări locale mai mari în coroana din zirconiu. Lungimea șurubului a modulat amplitudinea acestor efecte, mai evident pentru P45-L.

Obiectivul 3 – Evaluarea clinico-funcțională comparativă Matrix–Octa (Capitolul 6). Pierderea procentuală a cuplului a fost semnificativ mai mare la TRI® Octa®

față de TRI® Matrix® (mediană 40% vs. 25%; $p = 0,022$), cu asociere menținută după ajustarea pentru durata funcțională ($OR = 3,128$; $p = 0,011$), dar atenuată după includerea regiunii anatomice. Variabila exploratorie OccluSense s-a asociat independent cu parametrii mecanici nefavorabili și cu deșurubări anterioare mai frecvente. Parametrii clinici periimplantari, MBL și profilul microbiologic agregat nu au diferit semnificativ între grupuri. Scorurile VAS au fost ridicate și comparabile. Scorul funcțional VAS s-a corelat cu pierderea mecanică, iar scorul pentru țesuturi moi/igienizare cu statusul clinico-biologic periimplantar.

7.3. Contribuții personale și elemente de originalitate

1. Cercetare doctorală structurată pe trei direcții complementare, cu corelarea sistematică a percepției pacientului, predicției biomecanice și evaluării clinice multiparametrice pentru același concept implantar (abutment-free), abordare neidentificată în literatura consultată.

2. Instrument de evaluare a percepțiilor pacienților față de tehnologiile digitale stomatologice (34 itemi, α Cronbach = 0,926, S-CVI/Ave = 0,92), aplicat pe 397 de participanți, cu identificarea factorilor socio-demografici și clinici asociați cu acceptarea digitalizării.

3. Model FEA 3D comparativ al configurațiilor abutment-free și tissue-level cu Ti-base, utilizând geometrii CAD reale ale sistemelor TRI® Matrix® (P37, P45, șurub scurt și lung) și TRI® Octa®, cu preîncărcare standardizată și două scenarii de încărcare ocluzală, furnizând un cadru mecanistic concordant cu diferențele de comportament observate clinic.

4. Protocol clinic integrat multiparametric care combină, într-o singură vizită standardizată, determinarea RTV și calculul pierderii procentuale, analiza ocluzală digitală prin OccluSense, parametrii clinici și radiologici periimplantari, qPCR pe 12 specii bacteriene și scoruri VAS multidomeniu.

5. Evaluarea comparativă a pierderii procentuale a cuplului ca parametru mecanic principal pe restaurări tissue-level fără bont protetic versus tissue-level cu Ti-base, în condiții funcționale reale, cu verificare prin analize ajustate și de sensibilitate, una dintre primele evaluări clinice directe ale acestui parametru pentru sistemul TRI®.

6. Separarea dimensională a percepției funcționale față de statusul biologic periimplantar în contextul restaurărilor implantoprotetice: scorul funcțional VAS s-a corelat cu stabilitatea mecanică și distribuția ocluzală, iar scorul pentru țesuturi moi și igienizare cu

parametrii biologici locali, constatare cu implicații metodologice pentru selecția instrumentelor PROMs în studiile implantologice.

7.4. Limite generale ale cercetării

Limitele cercetării derivă din designurile celor trei studii. Studiul 1 a fost transversal și realizat exclusiv în clinici private urbane, iar chestionarul a evaluat percepții autodeclarate, nu cunoștințe obiective testate. Studiul 2 a fost o analiză numerică statică, liniar-elastică și idealizată, fără simularea solicitărilor ciclice și fără validare experimentală directă. Studiul 3 a fost observațional transversal și nerandomizat, cu distribuție anatomică neuniformă între grupurile Matrix și Octa, ceea ce limitează interpretarea rezultatului mecanic principal. Panelul qPCR de 12 specii nu descrie microbiomul periimplantar complet, iar scorurile VAS, deși utile clinic, nu înlocuiesc instrumentele PROMs validate specific pentru implantologie. În ansamblu, rezultatele trebuie interpretate ca asocieri și comparații exploratorii, nu ca demonstrații cauzale.

7.5. Perspective și direcții viitoare de cercetare

Validarea prospectivă a rezultatelor mecanice din Studiul 3 rămâne prioritară. Un studiu longitudinal cu loturi echilibrate anatomic prin stratificare pentru regiune dentară și tip antagonist, cu monitorizarea periodică standardizată a RTV și colectarea T₀ documentat individual la livrare, ar permite separarea efectului arhitecturii protetice de confundanții anatomici și funcționali. Testarea la oboseală ciclică a configurațiilor TRI® Matrix® P37 și P45, preferabil după protocolul ISO 14801, este necesară pentru corelarea vârfurilor de tensiune FEA cu rezistența la solicitări repetate. Variabila OccluSense exploratorie trebuie validată prospectiv prin evaluarea reproductibilității intra- și interoperatorii. Extinderea cadrului de recrutare în medii clinice diverse (clinici publice, zone rurale) ar crește transferabilitatea datelor privind percepțiile pacienților.

Bibliografie

- [1] Joda T, Ferrari M, Gallucci GO, et al. Digital technology in fixed implant prosthodontics. *Periodontol 2000* 2017; 73: 178–192.
- [2] Berglundh T, Armitage G, Araujo MG, et al. Peri-implant diseases and conditions: Consensus report of workgroup 4 of the 2017 World Workshop on the Classification of Periodontal and Peri-Implant Diseases and Conditions. *J Clin Periodontol* 2018; 45 Suppl 20: S286–S291.
- [3] Bishti S, Tuna T, Rittich A, et al. Patient-reported outcome measures (PROMs) of implant-supported reconstructions using digital workflows: A systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Implants Res* 2021; 32 Suppl 21: 318–335.
- [4] TRI Dental Implants Int. AG. Matrix Line Product Catalog 2025, Hünenberg, Switzerland, https://tri-implants.swiss/download/2025-09-tri_-matrix-catalog-eu-01_web_1.pdf (2025, accessed 13 December 2025).
- [5] Hjerpe J, Jung RE, Hämmerle CH, et al. Mechanical stability of fully personalized, abutment-free zirconia implant crowns on a novel implant-crown interface. *J Dent* 2022; 121: 104121.
- [6] Dodi A, Ionescu A, Marin MA, et al. Biomechanical Effects of Platform Diameter and Screw Length in an Abutment-Free Tissue-Level Implant System Compared with a Ti-Base Configuration: 3D Finite Element Analysis. *J Funct Biomater* 2026; 17: 19.
- [7] Bernauer SA, Zitzmann NU, Joda T. The Complete Digital Workflow in Fixed Prosthodontics Updated: A Systematic Review. *Healthcare (Basel)* 2023; 11: 679.
- [8] Mangano F, Gandolfi A, Luongo G, et al. Intraoral scanners in dentistry: a review of the current literature. *BMC Oral Health* 2017; 17: 149.
- [9] de Paris Matos T, Wambier LM, Favoreto MW, et al. Patient-related outcomes of conventional impression making versus intraoral scanning for prosthetic rehabilitation: A systematic review and meta-analysis. *J Prosthet Dent* 2023; 130: 19–27.
- [10] Jacobs R, Salmon B, Codari M, et al. Cone beam computed tomography in implant dentistry: recommendations for clinical use. *BMC Oral Health* 2018; 18: 88.
- [11] Tahmaseb A, Wu V, Wismeijer D, et al. The accuracy of static computer-aided implant surgery: A systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Implants Res* 2018; 29 Suppl 16: 416–435.
- [12] McGlumphy EA, Mendel DA, Holloway JA. Implant screw mechanics. *Dent Clin North Am* 1998; 42: 71–89.
- [13] Norman CD, Skinner HA. eHEALS: The eHealth Literacy Scale. *Journal of Medical Internet Research* 2006; 8: e507.

- [14] Ali S, Woodmason K, Patel N. The quality of online information regarding dental implants. *Br Dent J* 2014; 217: E16.
- [15] Renvert S, Persson GR, Pirih FQ, et al. Peri-implant health, peri-implant mucositis, and peri-implantitis: Case definitions and diagnostic considerations. *Journal of Clinical Periodontology* 2018; 45: S278–S285.
- [16] Al-Thobity AM. Titanium Base Abutments in Implant Prosthodontics: A Literature Review. *Eur J Dent* 2022; 16: 49–55.
- [17] Wittneben J-G, Joda T, Weber H-P, et al. Screw retained vs. cement retained implant-supported fixed dental prosthesis. *Periodontol 2000* 2017; 73: 141–151.
- [18] Staubli N, Walter C, Schmidt JC, et al. Excess cement and the risk of peri-implant disease - a systematic review. *Clin Oral Implants Res* 2017; 28: 1278–1290.
- [19] Pardal-Peláez B, Montero J. Preload loss of abutment screws after dynamic fatigue in single implant-supported restorations. A systematic review. *J Clin Exp Dent* 2017; 9: e1355–e1361.
- [20] Szajek K, Wierszycki M. Screw preload loss under occlusal load as a predictor of loosening risk in varying dental implant designs. *J Mech Behav Biomed Mater* 2023; 148: 106165.
- [21] Di Fiore A, Montagner M, Sivoilella S, et al. Peri-Implant Bone Loss and Overload: A Systematic Review Focusing on Occlusal Analysis through Digital and Analogic Methods. *J Clin Med* 2022; 11: 4812.
- [22] Geng JP, Tan KB, Liu GR. Application of finite element analysis in implant dentistry: a review of the literature. *J Prosthet Dent* 2001; 85: 585–598.
- [23] Wakabayashi N, Ona M, Suzuki T, et al. Nonlinear finite element analyses: advances and challenges in dental applications. *J Dent* 2008; 36: 463–471.
- [24] Viceconti M, Olsen S, Nolte L-P, et al. Extracting clinically relevant data from finite element simulations. *Clin Biomech (Bristol)* 2005; 20: 451–454.
- [25] Gözen M, Güntekin N. Comparison of occlusal force distribution and digital occlusal analysis methods of single posterior implant restorations: an in vivo study. *BMC Oral Health* 2025; 25: 795.
- [26] Chowdhary R, Sonnahalli NK. Clinical applications of the T-Scan quantitative digital occlusal analysis technology: a systematic review. *Int J Comput Dent* 2024; 27: 49–86.
- [27] Carvalho ÉBS, Romandini M, Sadilina S, et al. Microbiota associated with peri-implantitis-A systematic review with meta-analyses. *Clin Oral Implants Res* 2023; 34: 1176–1187.
- [28] Socransky SS, Haffajee AD, Cugini MA, et al. Microbial complexes in subgingival plaque. *J Clin Periodontol* 1998; 25: 134–144.

- [29] De Bruyn H, Raes S, Matthys C, et al. The current use of patient-centered/reported outcomes in implant dentistry: a systematic review. *Clin Oral Implants Res* 2015; 26 Suppl 11: 45–56.
- [30] Kunavisarut C, Jarangkul W, Pornprasertsuk-Damrongsri S, et al. Patient-reported outcome measures (PROMs) comparing digital and conventional workflows for treatment with posterior single-unit implant restorations: A randomized controlled trial. *J Dent* 2022; 117: 103875.
- [31] Mugri MH, Reddy NK, Sayed ME, et al. Stress Assessment of Abutment-Free and Three Implant–Abutment Connections Utilizing Various Abutment Materials: A 3D Finite Element Study of Static and Cyclic Static Loading Conditions. *Journal of Functional Biomaterials* 2025; 16: 372.
- [32] Schierz O, Hirsch C, Krey K-F, et al. Digital Dentistry and Its Impact on Oral Health-Related Quality of Life. *J Evid Based Dent Pract* 2024; 24: 101946.
- [33] Dodi A, Ionescu A, Marin MA, et al. Patients’ Knowledge and Perceptions Towards Digital Technologies in Dentistry: A Cross-Sectional Study. *Dentistry Journal* 2025; 13: 569.
- [34] Ayad N, Schwendicke F, Krois J, et al. Patients’ perspectives on the use of artificial intelligence in dentistry: a regional survey. *Head Face Med* 2023; 19: 23.
- [35] Al-Dabbagh N, Alnowailaty Y, Abed H, et al. Patients’ Perception of using Robotics and Artificial Intelligence in Dentistry: A Cross-sectional Study. DOI: 10.2174/0118742106339605240918065914.
- [36] Freire Y, Sánchez MG, Suárez A, et al. Influence of the use of social media on patients changing dental practice: a web-based questionnaire study. *BMC Oral Health* 2023; 23: 365.
- [37] Bujnowska-Fedak MM, Węgierek P. The Impact of Online Health Information on Patient Health Behaviours and Making Decisions Concerning Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2020; 17: 880.
- [38] Madanian S, Nakarada-Kordic I, Reay S, et al. Patients’ perspectives on digital health tools. *PEC Innovation* 2023; 2: 100171.
- [39] Hakeem FF, Abdouh I, Hamadallah HH, et al. The Association between Electronic Health Literacy and Oral Health Outcomes among Dental Patients in Saudi Arabia: A Cross-Sectional Study. *Healthcare (Basel)* 2023; 11: 1804.
- [40] Valizadeh-Haghi S, Rahmatizadeh S. eHealth literacy and general interest in using online Health information: a survey among patients with dental diseases. *OJPHI*; 10. Epub ahead of print 30 December 2018. DOI: 10.5210/ojphi.v10i3.9487.
- [41] Schnitzler C, Bohnet-Joschko S. Technology Readiness Drives Digital Adoption in Dentistry: Insights from a Cross-Sectional Study. *Healthcare* 2025; 13: 1155.

- [42] Alhomsi A, Aldoss H, Aljoujou AA, et al. Exploring How People Interact With Dental Misinformation on Social Media: A Cross-Sectional Study. *Cureus*. Epub ahead of print 21 March 2024. DOI: 10.7759/cureus.56625.
- [43] Yi M, Choi H. What drives the acceptance of AI technology?: the role of expectations and experiences. Epub ahead of print 2023. DOI: 10.48550/ARXIV.2306.13670.
- [44] Kim J-H, Noh G, Hong S-J, et al. Biomechanical stress and microgap analysis of bone-level and tissue-level implant abutment structure according to the five different directions of occlusal loads. *J Adv Prosthodont* 2020; 12: 316–321.
- [45] Lee H, Jo M, Sailer I, et al. Effects of implant diameter, implant-abutment connection type, and bone density on the biomechanical stability of implant components and bone: A finite element analysis study. *J Prosthet Dent* 2022; 128: 716–728.
- [46] Al-Sanea A, Aktas S, Celik T, et al. Effects of the internal contact surfaces of dental implants on screw loosening: A 3-dimensional finite element analysis. *J Prosthet Dent* 2023; 130: 603.e1-603.e11.
- [47] Falcinelli C, Valente F, Vasta M, et al. Finite element analysis in implant dentistry: State of the art and future directions. *Dent Mater* 2023; 39: 539–556.
- [48] Reddy MS, Sundram R, Eid Abdemagyd HA. Application of Finite Element Model in Implant Dentistry: A Systematic Review. *J Pharm Bioallied Sci* 2019; 11: S85–S91.
- [49] Pumnil S, Rungsiyakull P, Rungsiyakull C, et al. Effect of Different Customized Abutment Types on Stress Distribution in Implant-Supported Single Crown: A 3D Finite Element Analysis. *J Prosthodont* 2022; 31: e2–e11.
- [50] Südbeck S, Buser R, Reymus M, et al. A New Implant System with Directly Screwed Supraconstructions: Impact of Restoration Material and Artificial Aging on the Bending Moment. *Int J Prosthodont* 2023; 36: 190–201.
- [51] Tribst JPM, Özkara N, Blom EJ, et al. The Effect of Implant–Abutment Contact Area on the Stress Generation of Bone-Level and Tissue-Level Implants. *Applied Sciences* 2025; 15: 2744.
- [52] TRI Dental Implants Int. AG. *Instructions for Use: TRI® Dental Implant System / TRI® Matrix® and TRI® Octa® Technical Documentation*. Hünenberg, Switzerland: TRI Dental Implants Int. AG, 2026.
- [53] TRI Dental Implants Int. AG. Product Catalog 2025, Hünenberg, Switzerland., https://tri-implants.swiss/download/170926_en_product_catalogue_new_web.pdf (2025, accessed 29 October 2025).
- [54] ISO 14801:2016. Dentistry—Implants—Dynamic Loading Test for Endosseous Dental Implants. Geneva, Switzerland, <https://www.iso.org/standard/61997.html> (2016, accessed 28 October 2025).
- [55] Bustin SA, Ruijter JM, van den Hoff MJB, et al. MIQE 2.0: Revision of the Minimum Information for Publication of Quantitative Real-Time PCR Experiments Guidelines. *Clin Chem* 2025; 71: 634–651.

Lista cu lucrările științifice publicate

1. **Dodi A**, Ionescu A, Marin MA, Imre M. *Patients' Knowledge and Perceptions Towards Digital Technologies in Dentistry: A Cross-Sectional Study*. Dentistry Journal. 2025;13(12):569.

doi: 10.3390/dj13120569.

Indexată ISI/Web of Science Core Collection – ESCI; Factor de impact: 3,1.

<https://doi.org/10.3390/dj13120569>

<https://www.mdpi.com/2304-6767/13/12/569>

(studiu cuprins în Capitolul 4, pg. 35–54)

2. **Dodi A**, Ionescu A, Marin MA, Nuțu E, Vasilescu VG, Țâncu AMC, Ciocan TL, Imre M. *Biomechanical Effects of Platform Diameter and Screw Length in an Abutment-Free Tissue-Level Implant System Compared with a Ti-Base Configuration: 3D Finite Element Analysis*. Journal of Functional Biomaterials. 2026;17(1):19.

doi: 10.3390/jfb17010019.

Indexată ISI/Web of Science Core Collection – SCIE; Factor de impact: 5,2.

<https://doi.org/10.3390/jfb17010019>

<https://www.mdpi.com/2079-4983/17/1/19>

(studiu cuprins în Capitolul 5, pg. 55–88)