UNIVERSITATEA "TITU MAIORESCU" BUCUREŞTI

FACULTATEA DE MEDICINĂ DENTARĂ

ŞCOALA DOCTORALĂ

TEZĂ DE DOCTORAT

REZUMAT

Titanul în implantologia orală: model mecanobiologic integrativ și percepția pacienților

Coordonator științific:

Prof. Univ. Dr. FLORENTINA CORNELIA BÎCLEŞANU

Doctorand:

Mădălin Dorel ȚAP

București 2026

CUPRINS

INTRODUCERE 7

STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII 11

CAPITOLUL 1. INTEGRAREA TITANULUI ȘI A ALIAJELOR DIN TITAN ÎN IMPLANTOLOGIA ORALĂ 12

1.1. IMPORTANȚA UTILIZĂRII TITANULUI ȘI A ALIAJELOR DIN TITAN ÎN IMPLANTOLOGIA ORALĂ 12

1.2. EVOLUȚIA UTILIZĂRII TITANULUI ȘI A ALIAJELOR DIN TITAN ÎN IMPLANTOLOGIA ORALĂ 12

1.3. UTILITATEA ȘI BIOCOMPATIBILITATEA TITANULUI ÎN IMPLANTOLOGIA ORALĂ 17

1.3.1. Utilitatea titanului în implantologia orală 17

1.3.2. Biocompatibilitatea titanului în implantologia orală 19

1.4. FACTORII CARE AFECTEAZĂ PROCESUL DE OSTEOINTEGRARE LA NIVELUL IMPLANTULUI DENTAR DE TITAN 21

CAPITOLUL 2. ANALIZĂ PRIVIND PARTICULARITĂȚILE ÎNTÂLNITE LA IMPLANTURILE DIN TITAN ÎN IMPLANTOLOGIA ORALĂ 25

2.1. AVANTAJELE ȘI DEZAVANTAJELE UTILIZĂRII TITANULUI ȘI A ALIAJELOR DIN TITAN ÎN IMPLANTOLOGIA DENTARĂ 25

2.2. ANALIZA REZISTENȚEI ȘI A TRATAMENTULUI DE SUPRAFAȚĂ A IMPLANTULUI DIN TITAN 33

2.2.1. Metode de tratare a suprafețelor implanturilor dentare din titan 33

2.2.2. Analiza rezistenței implanturilor dentare din titan – Analiza FEA 38

2.3. PARTICULARITĂȚI IDENTIFICATE LA NIVELUL OSTEOINTEGRĂRII IMPLANTULUI DIN TITAN 42

CAPITOLUL 3. EFECTE ADVERSE CARE POT APĂREA ÎN URMA UTILIZĂRII TITANULUI ȘI A ALIAJELOR DIN TITAN ÎN IMPLANTOLOGIA ORALĂ 46
3.1. EFECTE SECUNDARE ALE UTILIZĂRII TITANULUI ÎN IMPLANTOLOGIA ORALĂ 46
3.1.1. Eliberarea particulelor de titan în organism și apariția hipersensibilității la titan 47
3.2. EFECTE SECUNDARE CARE POT APĂREA ÎN URMA UNUI IMPLANT DENTAR REALIZAT DIN ALIAJE DIN TITAN 49

CERCETARE PERSONALĂ 54
CAPITOLUL 4. IPOTEZE DE LUCRU ȘI OBIECTIVELE CERCETĂRII 55
4.1. OBIECTIVUL CERCETĂRII 55
4.2. IPOTEZA CENTRALĂ 56
4.3. IPOTEZE DE LUCRU 56
4.4. OBIECTIVUL GENERAL 57
4.5. OBIECTIVE SPECIFICE 57
4.5.1. Obiective privind percepția pacienților 57
4.5.2. Obiective biomecanice (FEA) 57
4.5.3. Obiective analitice (ICP-MS) 57
4.5.4. Obiective citologice 58
4.5.5. Obiective de corelaţie și statistică 58
4.5.6. Obiective clinice 58
CAPITOLUL 5. CERCETAREA PERCEPȚIEI PACIENȚILOR PRIVIND IMPLANTURILE DENTARE DIN TITAN ȘI EFECTELE ADVERSE ALE ACESTORA ASUPRA ORGANISMULUI UMAN 59
5.1. INTRODUCERE 59
5.2. SCOPUL STUDIULUI 59
5.3. OBIECTIVELE STUDIULUI 59
5.4. IPOTEZELE STUDIULUI 60
5.5. MATERIAL ȘI METODĂ 62
5.5.1. Realizarea chestionarului 63
5.5.2. Definirea conceptuală și operațională a variabilelor cercetării 64

5.5.3. Recoltarea informațiilor 68
5.6. REZULTATE 69
5.6.1.Analiza SEM utilizând WarpPLS 8.0 77
5.6.2. Validarea ipotezelor 78
5.6.3. Validarea modelului de cercetare 79
5.7. DISCUȚII 80
5.8. CONCLUZII 83
CAPITOLUL 6. ANALIZA NUMERICĂ A INFLUENȚEI DEGRADĂRII PRIN COROZIUNE A UNUI IMPLANT DENTAR DIN TITAN 85
6.1. INTRODUCERE 85
6.2. ANALIZA NUMERICĂ - ASPECTE CONCEPTUALE 87
6.3. SCOPUL STUDIULUI 88
6.4. MATERIAL ȘI METODĂ 88
6.4.1. Modelarea geometrică a structurii implantate 88
6.4.2. Proprietățile mecanice ale materialelor 91
6.4.3. Parametrii analizei cu element finit 92
6.4.4. Teste de mecanică la compresiune a interfeței implant-os simulat 94
6.4.5. Stabilirea solicitării structurii rezultate 95
6.5. REZULTATE 95
6.5.1. Rezultate teste mecanice 95
6.5.2. Rezultatele simulării numerice 97
6.6. DISCUȚII 106
6.7. CONCLUZII 111
CAPITOLUL 7. EVALUAREA ȘI CUANTIFICAREA PARTICULELOR ȘI IONILOR DE TITAN DIN ȚESUTURILE PERIIMPLANTARE PRIN CITOLOGIE EXFOLIATIVĂ ȘI ANALIZĂ ICP-MS 115
7.1. INTRODUCERE 115
7.2. SCOPUL STUDIULUI 116
7.3. OBIECTIVELE STUDIULUI 116
7.3.1. Obiectiv general 116
7.3.2. Obiective specifice 116

7.4. IPOTEZELE STUDIULUI 116
7.4.1. Ipoteza principală 116
7.4.2. Ipoteze secundare 117
7.5.MATERIAL ȘI METODĂ 117
7.5.1. Protocol de prelevare 119
7.5.2. Protocol pentru ICP-MS (ICP-MS 8800 Triple Quad (Agilent Technologies)) 121
7.5.3. Analiză statistică 121
7.6. REZULTATE 122
7.6.1. Distribuția demografică a lotului studiat a inclus analiza sexului, vârstei,localizării implanturilor, tipului de implant, vechimii implantului și a principalilor factori sistemici și comportamentali 122
7.6.2. Analiza concentratiei de Ti 126
7.6.3. Semnificatie co-prezentei altor ioni asociati Ti determinati prin spectrometrie ICP -MS 128
7.6.4.Analiza corelațională dintre factorii de risc clinici și concentrațiile de titan în funcție de vechimea implantului 133
7.7.DISCUȚII 137
7.8. CONCLUZII 146
CAPITOLUL 8. CONCLUZII FINALE 147
CAPITOLUL 9. CONTRIBUȚII ORIGINALE ALE STUDIULUI 150
BIBLIOGRAFIE 153
ANEXE 183

Cuvinte cheie: titan, implantologie orală, ICP-MS, FEA, citologie exfoliativă, percepția pacienților;

REZUMAT

Teza de doctorat intitulată *„Titanul în implantologia orală: model mecanobiologic integrativ și percepția pacienților”* studiază rolul titanului în implantologia orală dintr-o perspectivă integrativă. La nivelul acestei lucrări au fost studiate avantajele biomecanice ale acestui material, precum și efectele adverse asociate eliberării ionilor și a particulelor de titan. Scopul principal al acestei lucrări a fost acela de a realiza un model mecanobiologic al eliberării titanului în țesuturile periimplantare, precum și de a evalua percepției pacienților asupra implanturilor dentare din titan.

Analizând din punct de vedere al structurii lucrării, trebuie precizat că aceasta a fost împărțită în nouă capitole. Primele trei capitole au reprezentat stadiul actual al cunoașterii, în timp ce următoarele șase capitole au reprezentat cercetarea personală. La nivelul primei părți a tezei de doctorat a fost realizată o analiză critică a literaturii de specialitate, iar în a doua parte au fost realizate trei studii de cercetare personală.

Primele trei capitole au rolul de a prezenta principalele noțiuni teoretice referitoare la utilizarea titanului în implantologia orală. Astfel, sunt oferite informații relevante referitoare la evoluția utilizării titanului și a aliajelor din titan în acest domeniu dentar, precum și cu privire la principalele avantaje și dezavantaje ale utilizării acestui material în implantologia dentară. Având la bază noțiunile analizate în prima parte, în cea de-a doua secțiune a fost realizată o evaluare mecanobiologică a eliberării titanului la nivel periimplantar, a fost realizată analiza FEA și, ulterior, a fost studiată percepția pacienților care dețin cel puțin un implant dentar din titan.

Secțiunea a 2 a a tezei (cercetare personală) cuprinde 4 capitole: *„Ipoteze de lucru și obiectivele cercetării”* și trei studii de cercetare. *„Cercetarea percepției pacienților privind implanturile dentare din titan și efectele adverse ale acestora asupra organismului uman”* este un studiu cantitativ care a avut ca scop identificarea modului în care pacienții percep implanturile dentare din titan. Mai mult decât atât, la nivelul acestuia s-a dorit identificarea măsurii în care pacienții sunt conștienți de posibilele efecte adverse care pot apărea în urma utilizării implanturilor dentare din titan. Cercetarea cantitativă a fost realizată pe un eșantion de 162 de respondenți. Colectarea datelor a fost realizată cu ajutorul unui chestionar care a fost postat pe o platformă online.

Rezultatele au arătat faptul că principalele motive care i-au determinat pe pacienți să aleagă un implant dentar din titan au fost rata ridicată de succes, rezistența și durabilitatea în timp a acestora, precum și percepția conform căreia aceste tipuri de implanturi sunt sigure pentru organismul uman. În urma analizei s-a mai observat și faptul că o mare parte dintre cei care au participat la studiu consideră că implanturile dentare din titan au o rată de succes ridicată, aceștia având posibilitatea de a reface funcția masticatorie.

Mai mult, ei au fost de părere și cu faptul că aceste implanturi contribuie la obținerea unor rezultate estetice satisfăcătoare. Pe de altă parte, cei care au participat la studiu consideră că aceste dispozitive medicale au o durabilitate ridicată, dar și că au capacitatea de a reface rapid dinții naturali pe care aceștia i-au pierdut. Pe lângă aceste avantaje percepute de către respondenți, ei au precizat faptul că, atunci când se discută despre implanturile dentare din titan, trebuie să se țină cont și de principalele riscuri care pot apărea. Astfel, aceștia au considerat că cele mai importante sunt apariția infecțiilor, precum și a periimplantitei.

Pe lângă analiza univariată care a fost realizată, la nivelul acestui studiu a fost propus și un model conceptual care a fost ulterior testat cu ajutorul programului WarpPLS 8.0. Rezultatele au demonstrat că avantajele percepute, problemele anticipate, nivelul de cunoaștere a riscurilor și experiențele adverse anterioare influențează atât percepția per total asupra implanturilor din titan, cât și intenția de a utiliza tratamente implantare similare în viitor. Astfel, se poate menționa faptul că analiza modelului econometric a ilustrat, de fapt, existența unor legături semnificative între variabilele care au fost luate în considerare la nivelul studiului. Mai mult s-a observat faptul că avantajele acestor dispozitive medicale au capacitatea de a crea o percepție pozitivă cu privire la acestea, în timp ce experiențele anterioare, precum și gradul de cunoaștere al riscurilor, își pun puternic amprenta asupra procesului decizional. Analizând per ansamblu, se poate spune că, rezultatele obținute au arătat faptul că atât beneficiile percepute, cât și riscurile asociate au capacitatea de a influența procesul decizional al pacienților, contribuind la formarea percepției asupra implanturilor dentare din titan și influențând, în același timp, intenția de utilizare a acestora în viitor.

Capitolul intitulat *„Analiza numerică a influenței degradării prin coroziune a unui implant dentar din titan”*, a fost studiat comportamentul biomecanic al ansamblului implant dentar–os alveolar în condițiile degradării progresive prin coroziune, prin analiza cu element finit (FEA). Din punct de vedere metodologic, trebuie precizat că această cercetare a avut ca scop realizarea unui

model tridimensional al ansamblului implant dentar–os alveolar, asupra căruia a fost aplicată analiza cu element finit. La nivelul acestui studiu au fost exemplificate proprietățile mecanice ale materialelor care au fost utilizate și, în același timp, au fost simulate diferite grade de degradare prin coroziune, pentru a reproduce modificările structurale care pot apărea în timp la nivelul implantului. La nivelul studiului au fost analizate atât solicitările axiale, cât și cele oblice.

Rezultatele testelor mecanice și ale simulărilor numerice au arătat că degradarea prin coroziune are capacitatea de a influența în mod semnificativ distribuția tensiunilor. Mai mult, ea își pune amprenta și asupra comportamentului funcțional al sistemului implantar. Rezultatele au mai ilustrat și necesitatea optimizării designului implantar, a adecvării biomaterialelor și a aplicării unor protocoale protetice corecte pentru menținerea stabilității pe termen lung. Pe de altă parte, s-a mai observat și faptul că progresia coroziunii determină apariția unor concentrații locale de tensiune și modifică semnificativ transferul forțelor la interfața implant–os.

Astfel, s-a ilustrat faptul că, dacă degradarea materialului avansează, crește riscul de cedare mecanică a implantului și de resorbție osoasă marginală. Acest lucru se datorează distribuției neuniforme a solicitărilor. Mai mult decât atât, s-a observat că solicitările oblice generează valori mai ridicate ale tensiunilor comparativ cu încărcările axiale. Acest aspect crește efectele coroziunii și facilitează apariția fenomenului de stress shielding. Rezultatele obținute au mai arătat și faptul că stabilitatea biomecanică pe termen lung depinde în mare măsură de integritatea materialului implantar și de geometria implantului.

Capitolul *„Evaluarea și cuantificarea particulelor și ionilor de titan din țesuturile periimplantare prin citologie exfoliativă și analiză ICP-MS”*, studiază modificările biochimice, precum și cele celulare care au fost produse la nivelul țesuturilor periimplantare în urma utilizării implanturilor dentare din titan. Cercetarea s-a desfășurat pe un lot de pacienți care a fost împărțit în grupuri distincte, în funcție de criterii temporare reprezentate de vechimea implantului dentar. Astfel au existat trei grupuri: grupul cu implanturi recente (7 zile de la inserare), grupul cu implanturi la 6 luni de la inserare și grupul cu implanturi vechi, cu o vechime de ≥ 1 an.

Această clasificare a oferit posibilitatea studierii dinamicii eliberării ionilor de titan. Mai mult, ea a condus la identificarea modificărilor citologice asociate diferitelor etape ale adaptării periimplantare. La nivelul studiului a existat și un grup de control. Acesta a fost format din persoane care nu aveau un implant dentar din titan în momentul realizării studiului.

În ceea ce privește modalitatea de prelevare a probelor, trebuie precizat că a fost utilizată citologia exfoliativă. Analiza elementară s-a realizat prin spectrometrie de masă cu plasmă cuplată inductiv (ICP-MS). Rezultatele obținute în urma desfășurării acestui studiu au ilustrat faptul că nivelurile tisulare de titan au prezentat variații în funcție de vechimea implanturilor dentare. Acest lucru a exemplificat modalitatea de eliberare în timp a titanului. Analiza ICP-MS a mai arătat și prezența și variația unor ioni asociați titanului. Acești ioni proveneau fie din compoziția implanturilor, fie din procesele de degradare și tribocoroziune de la interfața implant–țesut. Având în vedere aspectele menționate anterior, trebuie precizat că, compararea concentrațiilor de titan cu cele ale celorlalți ioni detectați a oferit posibilitatea determinării unor modele de co-prezență și a unor posibile mecanisme comune de eliberare. Toate aceste aspecte au evidențiat existența unor procese complexe de degradare electrochimică și adaptare biologică locală.

Mai mult decât atât, analiza corelațională a evidențiat și existența unor legături între concentrațiile tisulare de titan și o serie de factori clinici și comportamentali ai pacienților. Astfel, s-a observat că variațiile nivelurilor de titan nu sunt influențate doar de vechimea implantului dentar, ci și de caracteristicile locale și sistemice ale pacientului. Aceste rezultate au evidențiat faptul că există o interacțiune complexă între procesele biologice periimplantare, solicitările mecanice și condițiile individuale ale fiecărui pacient. Având în vedere aceste aspecte, trebuie precizat că studierea permanentă a concentrațiilor de titan poate fi considerată un aspect foarte important în analizarea stabilității periimplantare. Mai mult decât atât, aceasta are un rol important și în identificarea precoce a factorilor care pot favoriza apariția complicațiilor biologice. Analizând per total rezultatele care au fost obținute, trebuie precizat că, acestea au capacitatea de a susține ipoteza conform căreia eliberarea titanului și a ionilor asociați este influențată atât de solicitările biomecanice, cât și de caracteristicile micro-mediului periimplantar.

„Concluziile finale” au punctat principalele idei cu semnificație de la nivelul lucrării. Astfel, s-a observat faptul că, chiar dacă actualmente atât titanul, cât și aliajele din titan sunt considerate a fi unele dintre cele mai utilizate materiale în realizarea implanturilor dentare, acestea trebuie studiate dintr-o perspectivă mult mai complexă. La nivelul acesteia ar trebui să se studieze atât beneficiile oferite, cât și principalele riscuri care pot apărea în urma utilizării acestui material. Studiile clinice realizate la nivelul lucrării au ilustrat prezența particulelor și a ionilor din titan în țesuturile periimplantare. Mai mult, s-a observat faptul că concentrația acestora era diferită, în funcție de vechimea implantului dentar.

În ultimul capitol al lucrării, *„Contribuții originale ale studiului”*, au fost prezentate principalele elemente de originalitate și de noutate ale lucrării. Astfel, originalitatea acesteia este dată de combinarea unor metode diferite de analiză. Având în vedere cele prezentate anterior, trebuie precizat că această lucrare aduce un plus de valoare atât la nivelul literaturii de specialitate, cât și în plan practic. Astfel, ea aduce o serie de informații noi referitoare la comportamentul biologic al titanului în implantologia orală și oferă, în același timp, o serie de direcții de cercetare viitoare pentru a putea optimiza materialele utilizate în implantologia dentară.