



**UNIVERSITATEA DE MEDICINĂ ȘI FARMACIE
"CAROL DAVILA" din BUCUREȘTI**

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

APLICAȚII ALE TEHNOLOGIEI 3D ÎN ENDODONȚIE

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

**Conducător de doctorat:
PROF. UNIV. DR. PERLEA PAULA**

**Student-doctorand:
ȘTEFĂNESCU COSMIN**

CUPRINS

Lista articolelor publicate în cadrul cercetării doctorale.....	6
Lista abrevierilor.....	7
Introducere.....	8
I. Partea generală. Stadiul actual al cunoașterii.....	10
1. Fluxul de lucru digital în practica stomatologică.....	10
1.1. Achiziția datelor.....	10
1.2. Scanarea intraorală.....	10
1.3. Scanarea cu scanner de laborator/scanarea desktop.....	12
1.4. Computerul Tomograf cu Fascicul Conic (CBCT).....	12
1.5. Procesarea datelor înregistrate.....	13
1.6. Printarea 3D.....	15
1.7. Post-procesarea obiectelor printate 3D.....	16
1.8. Fluxul de lucru CAD-CAM.....	16
1.9. CAM (Computer-Aided Manufacturing).....	17
1.10. Post-procesarea oxidului de zirconiu.....	18
1.11. Laser sinterizarea.....	19
2. Materiale utilizate în fluxul de lucru digital.....	20
2.1. Rășinile printabile.....	20
2.1.1. Rășina pentru modele.....	20
2.1.2. Rășina pentru ghiduri endodontice și ghiduri chirurgicale.....	21
2.1.3. Rășina pentru baza și dinții protezelor dentare.....	21

2.1.4. Rășina pentru gutiere.....	22
2.1.5. Rășina pentru restaurări ceramice definitive.....	22
2.1.6. Rășina pentru restaurări provizorii.....	22
2.1.7. Rășina pentru restaurări turnate.....	23
2.1.8. Rășina pentru portamprente individuale.....	23
2.1.9. Rășina flexibilă pentru țesut moale.....	23
2.2. Oxidul de zirconiu.....	24
2.2.1. Tipuri de oxid de zirconiu pentru restaurările dentare.....	24
2.2.2. Procesul de sinterizare al oxidului de zirconiu pentru restaurările dentare..	25
2.3. Metalul	27
2.4. Tehnologia 3D în Endodonție.....	28
2.4.1 Printarea 3D în Endodonție.....	28
2.4.2. Restaurarea prin tehnologia CAD-CAM a dinților tratați endodontic.....	29
2.4.3. Reconstituirile corono-radiculare ale dinților tratați endodontic.....	29
II. Contribuții personale.....	31
3. Ipoteza de lucru și obiectivele generale.....	31
3.1. Ipoteza generală.....	31
3.2. Obiectivele studiului.....	31
4. Metodologia generală a cercetării.....	33
5. Eficiența scanării din punct de vedere al preciziei și exactității pentru reconstituirea corono-radiculară, post-tratament endodontic.....	34
5.1. Introducere.....	34
5.2. Material și metodă.....	46
5.3. Rezultate.....	54
5.4. Discuții.....	60

5.5. Concluzii.....	68
6. Acceptabilitatea reconstituirilor corono-radiculare post-endodontice realizate digital, în funcție de metoda de amprentare.....	69
6.1. Introducere.....	71
6.2. Material și metodă.....	74
6.3. Rezultate.....	79
6.4. Discuții.....	89
6.5. Concluzii.....	92
7. Un nou flux de lucru original pentru realizarea digitală a reconstituirilor corono-radiculare hibride, aplicate post-tratament endodontic.....	93
7.1. Introducere.....	93
7.2. Material și metodă (case report).....	94
7.3. Discuții.....	106
7.4. Concluzii.....	111
8. Concluzii și contribuții personale.....	112
BIBLIOGRAFIE.....	115
Anexa 1.....	127
Anexa 2.....	137

LISTA ARTICOLELOR PUBLICATE ÎN CADRUL CERCETĂRII DOCTORALE

1. Perlea P, **Stefanescu C***, Al-Aloul OA, Ionita C, Petre AE. Digital Workflow for Producing Hybrid Posts and Cores. Healthcare (Basel). 2023 Mar 2;11(5):727. doi: 10.3390/healthcare11050727. PMID: 36900732; PMCID: PMC10001014[1].

(ISI- Factor de impact 2.8, Indexat PubMed)

Link: <https://www.mdpi.com/2227-9032/11/5/727>

Capitolul 7 (paginile 99-114)

2. Perlea P, **Stefanescu C***, Petre AE. Clinical Acceptance of Digitally Produced Zirconia and Metal Post and Cores, Based on the Impression Method. Clin Pract. 2024 Nov 20;14(6):2533-2541. doi: 10.3390/clinpract14060199. PMID: 39585027; PMCID: PMC11586991[2].

(Indexat PubMed)

Link: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39585027/>

Capitolul 5 (paginile 35-73)

INTRODUCERE

Tema acestei cercetări doctorale a fost propusă analizând noile tendințe ale stomatologiei moderne în ceea ce privește utilizarea în cât mai mare măsură a tratamentelor realizate prin tehnologii digitale. Astfel, medicii oferă predictibilitate și siguranță pacienților prin aplicarea unor metode și tehnologii intens studiate și analizate în literatura de specialitate. Tema prezintă un interes foarte mare la nivel mondial, dată fiind competiția dintre companiile producătoare de tehnologie digitală care au evoluat impresionant în cercetarea și dezvoltarea aplicațiilor CAD-CAM dedicate atât laboratoarelor de tehnică dentară, cât mai ales cabinetelor stomatologice. Evoluția a fost atât de bruscă încât marea majoritate a medicilor stomatologi pot achiziționa un sistem CAD-CAM pentru cabinet, dat fiind accesibilitatea prețurilor datorată concurenței dintre marile companii.

Prima direcție de cercetare analizează exactitatea și precizia scanării în adâncime a preparației pentru acest tip de restaurări. Se vor folosi cinci scanere și se va realiza o analiză a amprentelor digitale obținute. Alegerea temei acestei lucrări doctorale este motivată de necesitatea unei evaluări riguroase a preciziei și exactității scannerelor intraorale în realizarea restaurărilor corono-radiculare, în special după tratamente endodontice, unde fidelitatea amprente digitale este critică pentru adaptarea restaurării. Având în vedere avansul tehnologic rapid și lipsa unui consens generalizat privind performanța diverselor scanere intraorale în această indicație specifică, cercetarea propusă urmărește să aducă claritate și dovezi obiective cu privire la eficiența clinică a acestei tehnologii. Tema se încadrează în direcția actuală de digitalizare a stomatologiei și contribuie la optimizarea protocolului digital post-endodontic.

A doua direcție de cercetare va avea ca scop analiză comparativă a reconstituirilor obținute în laboratorul de tehnică dentară consecutiv amprente digitale versus cea convențională.

A treia direcție de cercetare are ca scop dezvoltarea unei noi tehnici de realizare a reconstituirilor corono-radiculare, integral digitală, fără folosirea materialelor convenționale de amprentă, care să conțină o parte radiculară cu proprietățile fizice ale dentinei și o parte coronară cu proprietățile fizice ale oxidului de zirconiu

II. CONTRIBUȚII PERSONALE

CAPITOLUL 3 - IPOTEZA DE LUCRU ȘI OBIECTIVELE GENERALE

3.1. Ipoteza generală

Ipoteza generală de lucru a prezentului studiu doctoral a fost aceea că tehnologia 3D are o aplicabilitate majoră și în domeniul endodonției, spre deosebire de toate celelalte domenii ale stomatologiei unde și-a pus deja amprenta de multe decenii: protetică dentară fixă, protetică dentară mobilă și mobilizabilă, implantologie, chirurgie orală, ortodonție.

Creșterea folosirii mijloacelor digitale în stomatologie a determinat o nevoie de cunoaștere a acestora din ce în ce mai dorită de medicii din întreaga lume. În ultimul deceniu s-a observat o creștere exponențială a numărului de articole din literatura de specialitate despre metodele și tehnologiile digitale din toate domeniile stomatologiei. Din dorința de a contribui la această creștere și din nevoia de a dezvolta noi metode digitale, s-a formulat ipoteza generală a acestui studiu doctoral care a dorit dezvoltarea unor noi aplicații ale tehnologiei 3D în domeniul endodonției, cât și studierea comportamentelor restaurărilor corono-radiculare care sunt absolut necesare după tratamentul endodontic al dinților puternic afectați de caria dentară.

3.2 Obiectivele studiului

Obiectivele generale ale cercetării din prezentul studiu doctoral au urmărit:

- aplicarea tehnologiilor CAD-CAM pentru rezolvarea unor nevoi de restaurare post-endodontică;
- analiza performanței scanării intraorale în domeniul endodonției;
- analiza protocolului de lucru digital în obținerea reconstituirilor corono-radiculare post-endodontice și compararea cu metodele convenționale
- dezvoltarea unei tehnici noi de realizare a reconstituirilor corono-radiculare, pur digital

Obiectivele specifice ale cercetării din prezentul studiu doctoral au urmărit:

- evaluarea comparativă a preciziei și exactității a cinci scanere intraorale în realizarea amprentelor digitale pentru reconstrucții corono-radiculare post-endodontice

- identificarea metodei de amprentă care favorizează obținerea unor reconstituiri corono-radiculare cât mai precise realizate digital și comparația între materialele cele mai frecvent folosite pentru aceste restaurări post-endodontice: metal vs oxid de zirconiu;
- dezvoltarea unei metode noi de realizare digitală a unei reconstituiri corono-radiculare hibride care la nivel radicular să prezinte proprietăți asemănătoare dentinei de la nivelul spațiului endodontic preparat, iar la nivel coronar să prezinte o rezistență sporită pentru a putea oferi sprijin și retenție pentru o viitoare coroană de acoperire;

CAPITOLUL 5 - EFICIENȚA SCANĂRII DIN PUNCT DE VEDERE AL PRECIZIEI ȘI EXACTITĂȚII PENTRU RECONSTITUIREA CORONO-RADICULARĂ, POST- TRATAMENT ENDODONTIC

5.1 Introducere

Data fiind necesitatea preciziei și exactității în scanarea preparațiilor pentru reconstituirea corono-radiculare, literatura de specialitate existentă conține informații care evidențiază impactul scanării asupra înregistrării suprafețelor de la nivelul canalului dintelui preparat. Dacă scanarea nu redă exact suprafața preparată, reconstituirea corono-radiculară nu se va potrivi. Prin urmare, a fost propus un studiu in vitro care să examineze comparativ exactitatea și precizia scanării la nivelul acestui tip de preparație, între cinci dintre cele mai folosite scanere intraorale. Astfel, ipoteza nulă formulată a fost că tipul de scanner folosit nu ar avea niciun impact asupra exactității și preciziei scanărilor pentru reconstituiri corono-radiculare.

5.2 Material și Metodă

Studiul a fost realizat în perioada septembrie 2024 - aprilie 2025 în laboratorul de tehnică dentară Aspen Dental, București, România.

A fost realizată o scanare de referință cu ajutorul unui scanner performant de laborator Medit T710. Apoi, au fost realizate scanări succesive cu cele cinci scanere intraorale: 3shape TRIOS 3 (Copenhaga, Danemarca), 3shape TRIOS 4 (Copenhaga, Danemarca), Sirios Straumann (Basel, Elveția), Medit i900 (Seul, Coreea de Sud), iTero Element 2 (Tempe, SUA). Protocolul de scanare a fost identic pentru toate cele 50 de scanări realizate de același operator, conform indicațiilor producătorilor.

În software-ul fiecăruia dintre cele 5 scanere comparate, a fost selectat butonul care activează o scanare nouă și a fost declarat un nume virtual “*Test*”. Apoi, a fost bifată harta dinților pentru TRIOS 3 (Figura 5.6), TRIOS 4, Medit i900, iTero Element 2 și Straumann SIRIOS pentru ca scannerul să permită trecerea la următorul pas, cel în care se realizează scanarea propriu-zisă.

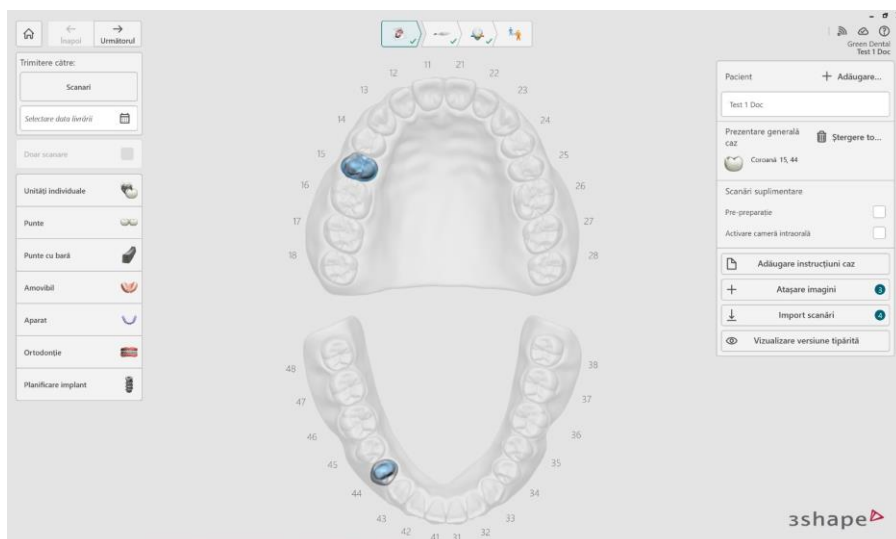


Figura 5.6. Harta dinților pentru TRIOS 3 (captură de ecran, arhiva personală)

Pentru analiza exactității, fiecare fișier STL a fost indexat cu fișierul STL de referință, rezultând zece seturi de date pentru fiecare grup, în timp ce pentru analiza preciziei, fiecare fișier STL a fost indexat cu fiecare scanare a modelului din aceeași categorie, rezultând 45 de seturi de date pentru fiecare grup. În acest scop, a fost utilizat software-ul Geomagic Control X al companiei 3D Systems (Rock Hill, SUA) (Figura 5.19).

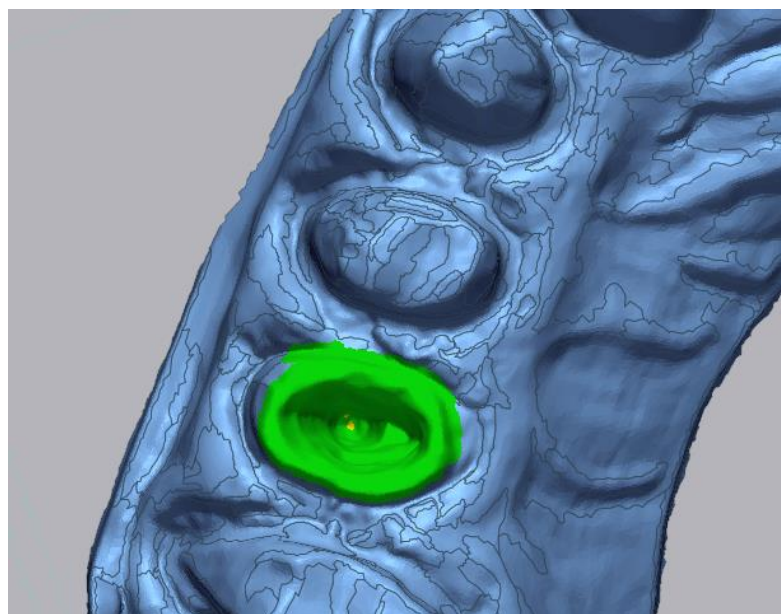


Figura 5.19. Suprafața preparată la nivelul căreia se va așeza reconstituirea coro-
nă (captură de ecran, arhiva personală)

5.3 Rezultate

Testarea normalității rezultatelor a fost evaluată folosind testul Shapiro-Wilk, care a indicat valori $p > 0,05$ atât pentru exactitate cât și pentru precizie. Prin urmare, s-a folosit testul ANOVA unifactorial pentru a testa posibilele diferențe dintre abaterile medii pătratice ale celor cinci grupuri studiate. În urma analizei pentru exactitate s-a obținut o valoare $p < 0,05$ (1.17×10^{-10}) (Figura 5.20), identificându-se diferențe semnificative între grupurile studiate. În urma analizei pentru precizie s-a obținut, de asemenea, o valoare $p < 0,05$ (5.32×10^{-98}) (Figura 5.21), identificându-se diferențe semnificative între grupurile studiate.

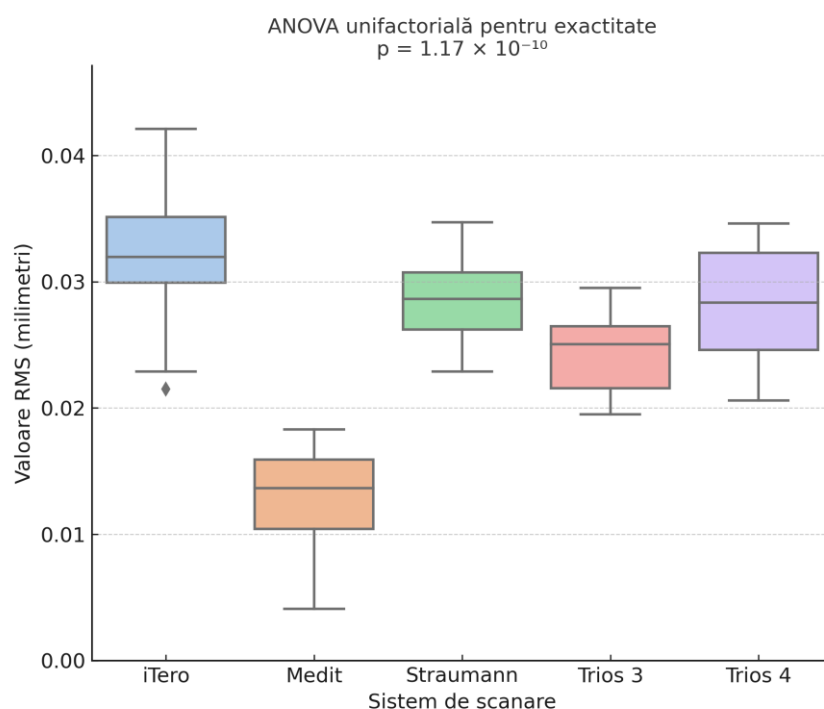


Figura 5.20. ANOVA unifactorială pentru exactitate

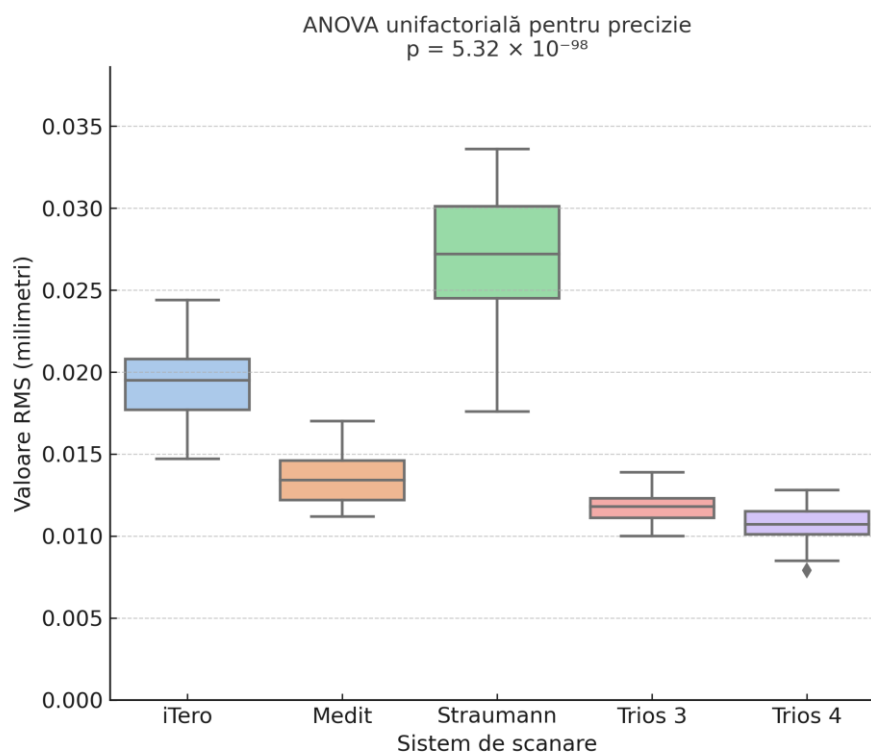


Figura 5.21. ANOVA unifactorială pentru precizie

5.4. Discuții

Aceste rezultate sunt congruente cu cele raportate în literatura recentă care evaluează performanțele scannerelor intraorale în contexte similare. Studiile realizate de Taha et al.[3] și Emam et al.[4] au evidențiat faptul că scanerul Medit a oferit valori superioare ale exactității în captarea cavităților pentru pivoți, comparativ cu sistemele TRIOS. Similar, Dupagne et al.[5] au arătat că Medit i700 a obținut rezultate comparabile sau superioare față de Omnicam și TrueDefinition în scanarea pivoților.

5.5. Concluzii

În concluzie, Medit i900, TRIOS 3 și TRIOS 4 au demonstrat o exactitate și o precizie superioară în scanarea digitală a preparațiilor pentru reconstituirile coronoradiculare. Aceste rezultate susțin utilizarea scannerelor intraorale de generație nouă atunci când se dorește înregistrarea unor astfel de amprente, oferind un potențial clinic ridicat în asigurarea adaptării corecte și a longevității restaurărilor.

Ipoteza nulă formulată la începutul acestui studiu a fost respinsă atât în cazul analizei pentru exactitate, cât și în cazul analizei pentru precizie. În urma analizei comparative s-au identificat diferențe semnificative între scanerul evaluat.

CAPITOLUL 6 - ACCEPTABILITATEA RECONSTITUIRILOR CORONO-RADICULARE POST-ENDODONTICE REALIZATE DIGITAL, ÎN FUNCȚIE DE METODA DE AMPRENTARE

6.1 Introducere

Studiul prezent își propune să determine câte dintre pivoturile primite din laborator sunt acceptate pentru cimentare de către medici și câte nu. Acest criteriu crucial, denumit *acceptabilitate clinică*, semnifică procentul de RCR-uri considerate acceptabile de către medici în momentul în care sosesc din laboratorul de tehnică dentară, înainte de cimentare. Prin urmare, luând în considerare aspectele descrise, a fost formulată o ipoteză de nul: nu există diferențe în acceptarea clinică a RCR-urilor din oxid de zirconiu obținute prin amprente convenționale versus digitale. De asemenea, o altă ipoteză de nul a fost formulată: nu există diferențe în acceptarea clinică a RCR-urilor metalice obținute prin amprente convenționale versus digitale.

6.2 Material și metodă

Studiul a fost realizat prin colectarea informațiilor din baza de date a laboratorului de tehnică dentară Aspen (București, România) pentru anul calendaristic 2023 (ianuarie - decembrie).

Din cabinetele clinicii stomatologice Dent Estet (bd. Aviatorilor 98, București, România) au fost recepționate un număr de 577 amprente digitale și convenționale considerate corecte.

Același laborator a realizat atât RCR-urile după amprenta intracanalară digitală cât și pe cele după amprentă convențională cu elastomer de sinteză, tip silicon de condensare, în două consistențe, chitos și fluid.

PROCEDURA pentru realizarea RCR după amprenta intracanalară digitală:

1. În laborator a fost recepționată amprenta digitală înregistrată cu ajutorul unui scanner intraoral (TRIOS 4, 3Shape, Danemarca), iar integritatea părții radiculare a canalului pregătit a fost verificată pe ecranul scannerului.

2. Setul de date reprezentat de fișierele STL a fost utilizat pentru proiectarea RCR-ului în software-ul CAD (Exocad Rijeka, EXOCAD GmbH, Germania). Parametrul pentru spațiul de cimentare a fost setat la 50 μm pe toată suprafața internă a RCR-ului.

- 3.a. După finalizarea proiectării, fișierele STL ale RCR-ului au fost transmise la mașina de frezat cu 5 axe (CORiTEC® 250i Loader PRO, Imes Icore GmbH, Germania) pentru a freza discul de oxid de zirconiu (Luxen, Dentalmax, Coreea de Sud). Ulterior,

pinii de atașare ai RCR-ului la discul CAD/CAM au fost tăiați și finisați. RCR-urile au fost sinterizate într-un cuptor (AUSTROMAT Series 6, DEKEMA Dental-Keramiköfen GmbH, Germania) timp de 11 ore, la o temperatură maximă de 1530 de grade.

3.b. O dată finalizată proiectarea, fișierele STL ai RCR-ului au fost transferate la imprimanta 3D pentru metal (MySint100, Sisma, Italia), utilizând pulbere de Cr-Co pentru sinterizarea cu laser a RCR-urilor metalice. Ulterior, pinii de atașare ai pivoților imprimați au fost tăiați și finisați (Figura 6.1).



Figura 6.1. Pini de atașare a restaurărilor pe platforma imprimantei 3D pentru metal (arhiva personală)

PROCEDURA pentru realizarea RCR după amprenta intracanalară convențională folosind silicon:

1. Înregistrarea amprentei pentru RCR a fost realizată cu elastomer de sinteză, tip silicon de condensare în două consistențe (Speedex, Coltene, Elveția). Ampretele au fost trimise imediat la laboratorul de tehnică dentară.

2. Din acest punct, fluxul de lucru a devenit digital, scanând amprentele cu un scanner de laborator (Medit T510, Medit, Coreea de Sud). Setul de date reprezentat de fișierele STL a fost utilizat pentru proiectarea RCR-ului în software-ul CAD (Exocad Rijeka, EXOCAD GmbH, Germania). Parametrul pentru spațiul de cimentare a fost setat la 50 μ m pe toată suprafața internă a RCR-ului.

3.a. După finalizarea proiectării, fișierele STL ale RCR-ului au fost transmise la mașina de frezat cu 5 axe (CORiTEC® 250i Loader PRO, Imes Icore GmbH, Germania) și au fost ordonate digital (Figura 6.2) în discul de oxid de zirconiu (Luxen, Dentalmax, Coreea de Sud). Ulterior frezării, pinii de atașare ai RCR-ului la discul CAD/CAM au fost tăiați și finisați. RCR-urile au fost sinterizate în cuptorul de oxid de zirconiu AUSTROMAT Series 6, (DEKEMA Dental-Keramiköfen GmbH, Germania) (Figura 6.3), și HTS – 2/M/ZIRKON-120m (MIHM-VOGT GmbH, Germania) (Figura 6.4) timp de 11 ore, la o temperatură maximă de 1530 de grade.

3.b. O dată finalizată proiectarea, fișierele STL ale RCR-ului au fost transferate la imprimanta 3D pentru metal (MySint100, Sisma, Italia), utilizând pulbere de Cr-Co pentru sinterizarea cu laser a RCR-urilor metalice. Ulterior, pinii de atașare ai pivoților imprimați au fost tăiați și finisați.



Figura 6.2. Fișiere STL ordonate digital în discul de oxid de zirconiu (arhiva personală)

După procedurile de laborator, medicii au evaluat fiecare RCR prin control extra-oral și intra-oral. Dacă adaptarea acestora nu a fost corespunzătoare, clinicianul nu a făcut ajustări pentru a asigura o adaptare corectă. Prin urmare, s-a furnizat un răspuns laboratorului pentru fiecare RCR: **acceptat** sau **neacceptat**. RCR-urile care nu se potriveau în timpul evaluării primeau un statut de **"neacceptat"**. Toate aceste răspunsuri au fost adunate într-un tabel (Anexa 2), formând baza de date pentru studiul asupra acceptabilității RCR-urilor pe tot parcursul anului calendaristic: ianuarie - decembrie 2023. Un total de 577 de RCR-uri au fost examinate pentru această cercetare și împărțite în patru grupuri: RCR-uri metalice Cr-Co obținute prin amprente convenționale (Grupul 1), și RCR-uri metalice Cr-Co obținute prin amprente digitale (Grupul 2), RCR-uri din oxid de zirconiu obținute prin amprente convenționale (Grupul 3), și RCR-uri din oxid de zirconiu obținute prin amprente digitale (Grupul 4). Diferențele dintre procente de RCR-uri din oxid de zirconiu acceptate și neacceptate, precum și cele acceptate și neacceptate din Cr-Co, au fost evaluate folosind testul Chi-squared efectuat cu ajutorul unui software de statistică dedicat (Prism, GraphPad, SUA).

6.3 Rezultate

Un total de 577 de RCR-uri au fost create într-un laborator de tehnică dentară pe parcursul unui an calendaristic. Dintre acestea, 234 au fost RCR-uri metalice fabricate din Cr-Co, iar 343 au fost RCR-uri fabricate din oxid de zirconiu (Figura 6.5), (Figura 6.6).

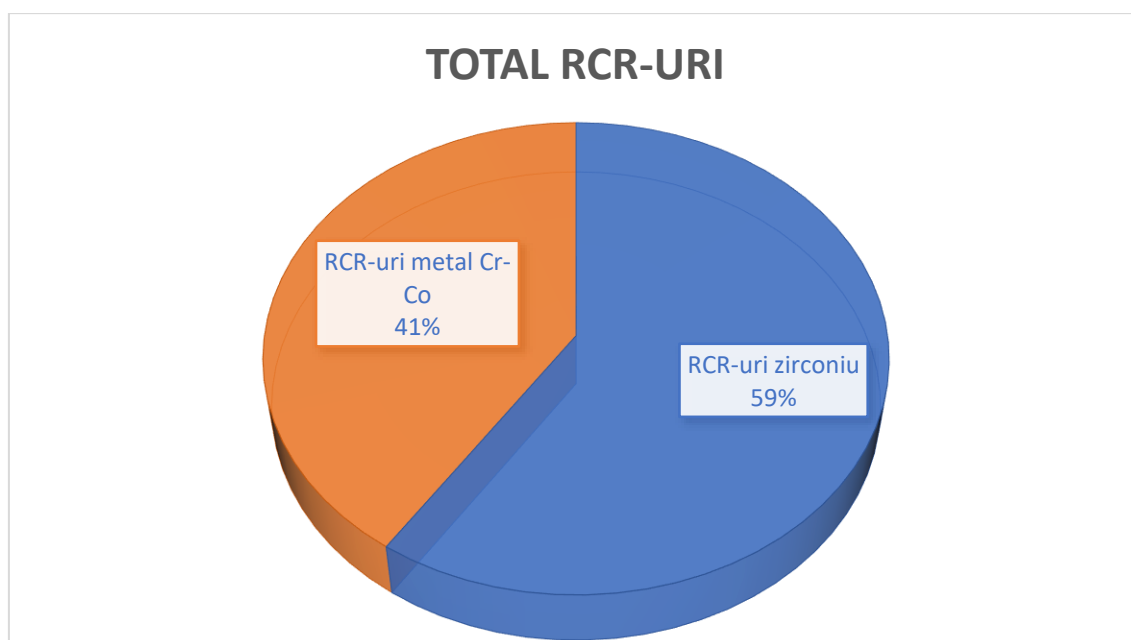


Figura 6.5 Procentaj RCR-uri metalice Cr-Co vs RCR-uri din oxid de zirconiu

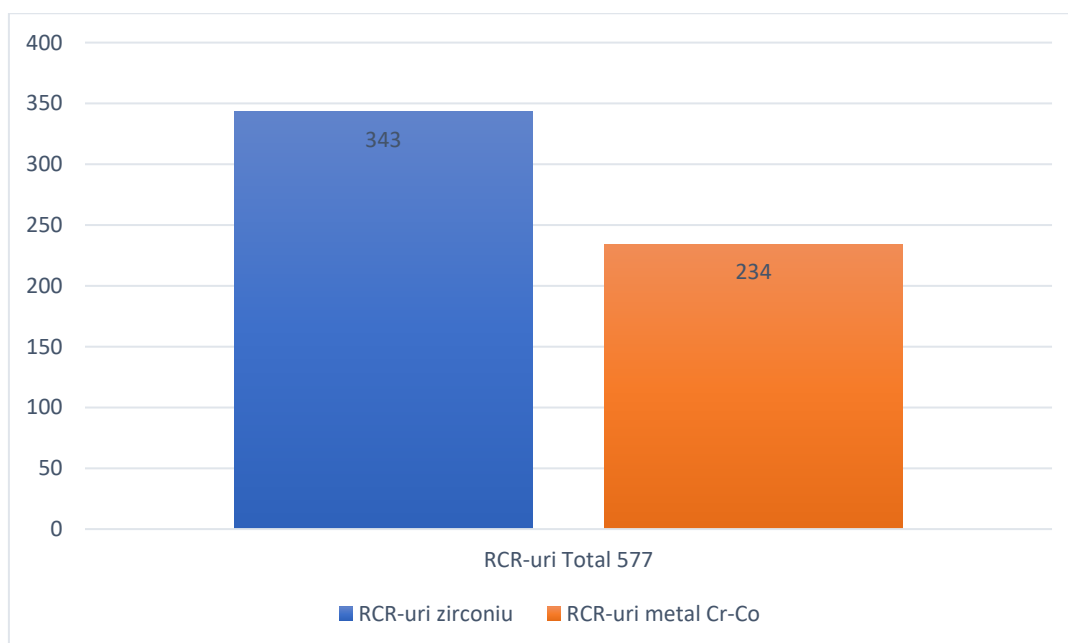


Figura 6.6. Număr RCR-uri metalice Cr-Co vs RCR-uri din oxid de zirconiu

Calculând procentajul de acceptabilitate clinică, se poate observa că 95% dintre RCR-urile metalice obținute din amprente convenționale au fost acceptate de către clinician pentru cimentare. Un procent similar, 95%, a fost înregistrat pentru RCR-urile metalice obținute prin amprente digitale, semnificând aprobarea clinicianului pentru cimentare. Testul Chi-squared a furnizat un rezultat $p = 0.98$, indicând lipsa unei diferențe semnificative din punct de vedere statistic (Figura 5.23).

Chi-square test for metal post and cores

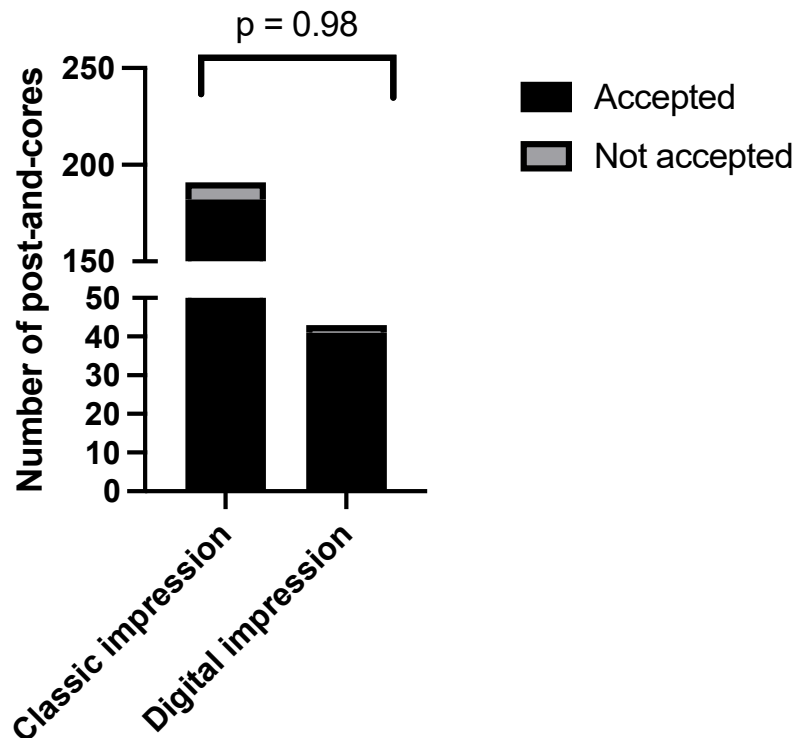


Figura 6.23. Chi-squared test pentru RCR-uri metalice din Cr-Co

Procentajul de acceptabilitate clinică pentru RCR-urile realizate din oxid de zirconiu realizate prin amprentă convențională și acceptate de către clinician pentru cimentare, a fost de 95%. În contrast, s-a înregistrat o rată de acceptare clinică de 88% pentru RCR-urile din oxid de zirconiu obținute prin amprente digitale. Testul Chi-squared a generat o valoare $p = 0.02$, semnificând o diferență statistică semnificativă (Figura 6.24).

Chi-square test for zirconia post and cores

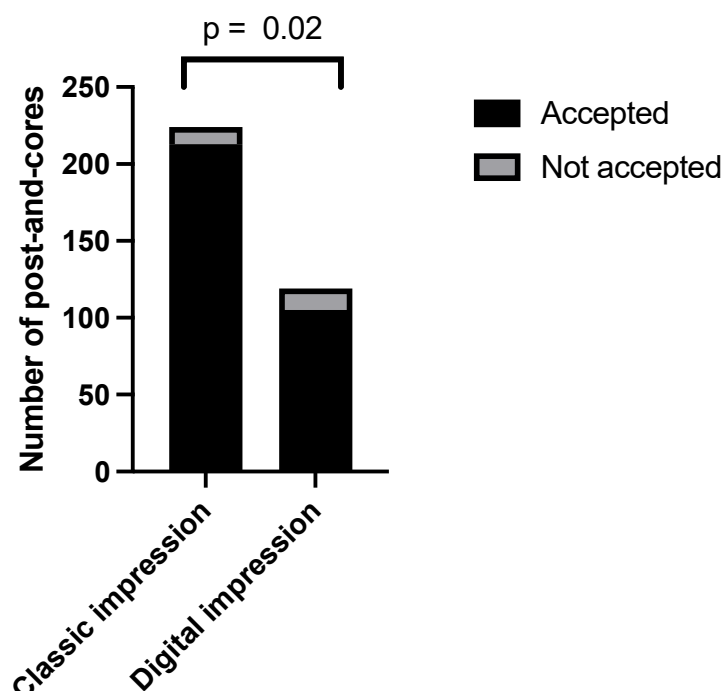


Figura 6.24. Chi-squared test pentru RCR-uri metalice din oxid de zirconiu

6.4 Discuții

Se poate observa că toate articolele publicate până în prezent, referitoare la "acceptarea clinică" sunt despre coroane și nu despre RCR-uri. O analiză sistematică a literaturii realizată de Goujat et al.[6] a concluzionat că majoritatea studiilor au raportat date clinic acceptabile pentru adaptarea marginală (<120 μ m). Ferrairo et al.[7] au demonstrat în studiul lor faptul că cele patru sisteme CAD/CAM testate au generat restaurări monolitice din disilicat de litu cu o adaptare marginală și internă clinic acceptabile. Un alt studiu privind acceptarea clinică a fost realizat de Farah RI et al.[8], care a indicat că cele trei programe CAD investigate au capacitatea de a proiecta coroane cu adaptare internă și marginală clinic acceptabile.

6.5 Concluzii

Analizând datele prezentate, se poate observa că ipoteza nulă formulată la începutul acestui studiu a fost respinsă doar în cazul RCR-urilor din oxid de zirconu, unde s-a constatat o diferență semnificativă în acceptarea clinică între cele fabricate cu ajutorul amprentelor convenționale și cele digitale. Astfel, este evidentă o rată semnificativ mai

mare de acceptare în cazul RCR-urilor fabricate din oxid de zirconiu prin amprenta convențională. În cazul RCR-urilor metalice din Cr-Co, ipoteza nulă nu a putut fi respinsă.

Una dintre limitările acestui studiu este dimensiunea eșantionului studiat. Pentru informații suplimentare, pot fi efectuate studii noi în viitor pentru a evalua cauzele lipsei de acceptabilitate și adaptare marginală a RCR-urilor, similar studiilor pentru coroanele de acoperire.

CAPITOLUL 7 - UN NOU FLUX DE LUCRU ORIGINAL PENTRU REALIZAREA DIGITALĂ A RECONSTITUIRILOR CORONO-RADICULARE HIBRIDE, APLICATE POST-TRATAMENT ENDODONTIC

7.1 Introducere

Acest studiu in vitro descrie o metodă nouă și simplificată pentru scanarea directă a preparației pentru RCR hibrid cu parte coronară din oxid de zirconiu și parte radiculară din fibră de sticlă, fără a utiliza un material de amprentă convențional. Un flux de lucru va fi descris pas cu pas folosind Exocad (Exocad GmbH, Darmstadt, Germania), una dintre cele mai utilizate aplicații de software pentru CAD stomatologic. Studiul a fost realizat în perioada 2019-2023 în cadrul Catedrei de Protetică Dentară din Ambulatoriul de Specialitate – Stomatologie, Aleea Barajul Iezeru nr. 8.

7.2. Materiale și metodă

1. După finalizarea tratamentului endodontic la microscop se efectuează pregătirea canalului pentru RCR cu o freză standardizată pentru pivoți, parte a unui kit dedicat pivoților din fibră de sticlă. Apoi, se pregătește partea coronară a dintelui conform ghidurilor și metodelor de lucru pentru pregătirea RCR-urilor [9]. Se finalizează, se verifică și apoi se curăță preparația.

2. Se înregistrează o amprentă digitală utilizând scannerul intraoral TRIOS 3 (3Shape, Copenhaga, Danemarca). Se realizează fișa de scanare a pacientului selectând "Caz nou" și "Laborator intern" pentru conexiunea implicită la laboratorul de tehnică dentară. În diagrama pacientului din software se selectează dintele care se va scana și apoi se alege opțiunea „Anatomie” și „Coroană” pentru a permite scanarea în mod HD pentru o precizie crescută a acesteia. În plus, se activează butonul "Pre-preparare" din partea dreaptă a ecranului. Acum, software-ul poate scana al patrulea fișier STL intitulat "Pre-preparare".

3. Se începe scanarea arcadei antagoniste și apoi se scanează arcada funcțională cu dintele care prezintă freza de preparare a canalului pe poziție, plasată în interior, ca "Pre-preparare inferioară" (Figura 7.1) folosind scannerul intraoral. Întinderea amprenteii digitale poate acoperi minim 2-3 dinți adiacenți mezial și distal.

4. Apoi, software-ul va solicita să fie marcat dintele în cauză. Această operațiune permite medicului să rescaneze zona dintelui care a fost selectată astfel. Acum freza calibrată este scoasă din canal și dintele este scanat printr-o tehnică asemănătoare oricărei preparații standard. Nu este necesar să se scaneze întreaga arcadă din nou. Apoi, se scanează ocluzia ca de obicei, pacientul fiind în poziția de intercuspidare maximă. Software-ul va post-procesa patru scanări: "Inferior", "Pre-preparare inferioară", "Superior" și "Ocluzie".



Figura 7.1. Scanarea dintelui cu freza inserată pe canal (arhiva personală)

5. Din diagrama pacientului, se selectează prin click dreapta scanarea realizată și apoi se va apăsa pe opțiunea "Exportă" > "Scanări". Apoi, se realizează un dosar nou ("New folder") pentru fișiere. Pentru o organizare mai bună, se realizează un subdosar pentru fiecare pacient și se schimbă tipul de fișier din Digital Imaging and Communications in Medicine (DCM) în Standard Triangle Language (STL) și se numesc fișierele conform numelui dosarului, iar apoi se selectează butonul "Salvare". Fișierele vor fi salvate ca LowerJawScan.stl, LowerPrePreparationScan.stl, UpperJawScan.stl și BiteScan.stl.

6. Un software de CAD (Exocad, Darmstadt, Germania) este utilizat pentru proiectarea RCR-ului hibrid. Se selectează un client și un tehnician dentar pentru această restaurare și se atribuie un nume. Numele poate fi același cu dosarul realizat anterior. Dintele pregătit este declarat ca "Telescopic Crown", arcada antagonistă este declarată ca "Antagonist", iar modul de scanare a ocluziei este declarat ca "Scanare Digitală a Ampretei".

Se va selecta butonul "Salvare și Proiectare". Când fereastra CAD se deschide, se va importa LowerJawScan.stl ca arcadă mandibulară și UpperJawScan.stl ca arcadă maxilară. Se va seta orientarea datelor de scanare iar apoi se selectează modul "Expert", unde se poate accesa opțiunea "Adăugare/Înlăturare" fișier 3D. Scanarea numită LowerPrePreparationScan.stl care conține dintele cu freza plasată pe canal este importată ca "Generic visualization mesh" și se suprapune cu scanarea care este identică și conține doar preparația pentru RCR, fără freza plasată pe canal. Ambele scanări vor fi acum în aceeași poziție (Figura 7.3).

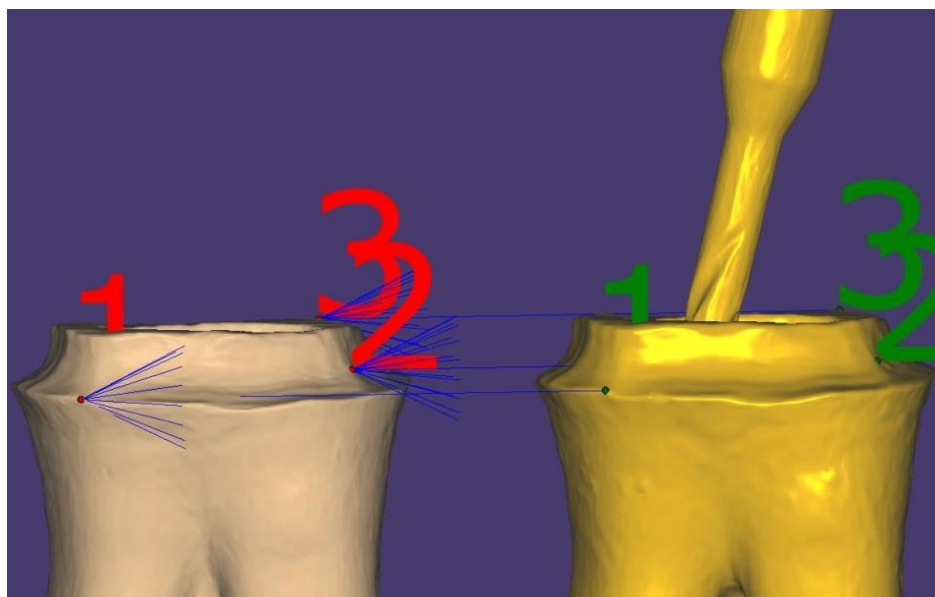
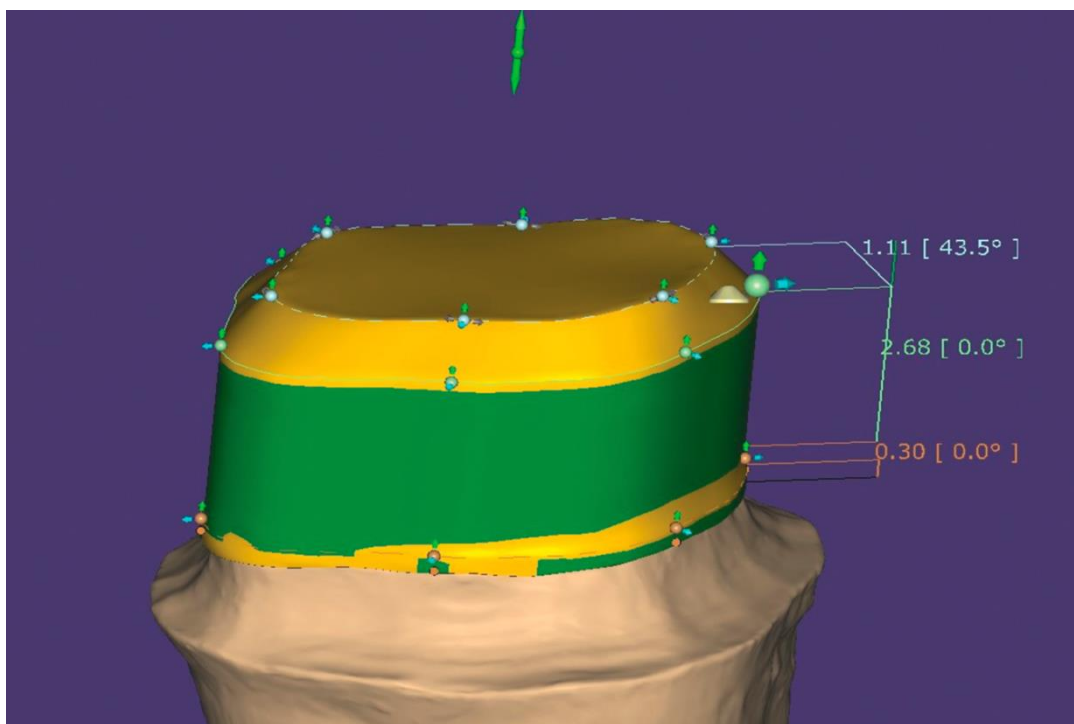


Figura 7.3. Suprapunerea celor două scanări în software-ul CAD (arhiva personală)

7. Se va părăsi modul "Expert" și se va continua proiectarea părții coronare a RCR-ului hibrid. Primul pas este selectarea marginilor preparației la nivelul scanării. Se recomandă setarea unui spațiu pentru ciment de 80 μm între RCR și pereții preparației. Software-ul CAD va genera automat un model ideal de dinte din bibliotecă care poate fi mutat, redimensionat și rotit în poziția corectă. Acest dinte ideal este editat cu "Free Forming" și apoi este adaptat corect în ocluzie. Software-ul va genera apoi un "Telescop primar" conform cu morfologia viitoarei restaurări și va permite operatorului să stabilească exact axul de inserție. Geometria RCR-ului va fi proiectată conform acestui ax corectat. Ajustările formei finale pot fi efectuate în etapa "Free Forming Telescope". La ultimul pas,

toate părțile construite ale RCR-ului vor fi unite de software-ul CAD și va rezulta o construcție finală a restaurării.



7.15. Designul părții coronare a dispozitivului corono-radicular în software-ul CAD (arhiva personală)

8. Partea coronară a RCR-ului generat de software trebuie să fie perforată conform axului de orientare a pivotului din fibră de sticlă care reprezintă partea radiculară. Pentru această procedură, va fi activată vizualizarea fișierului 3D important anterior ca „Generic visualisation mesh” iar transparența sa va fi redusă cu 75%.

9. Se va accesa "Free form reconstruction" și se va selecta "Attachements" > „Extrusion” > „Design parametric” > „Circular". Raza cilindrului va fi setată în funcție de diametrul pivotului de fibră din sticlă plus 15 μm pentru a permite cimentului să aibă spațiu între partea coronară și partea radiculară a RCR-ului hibrid. Orientarea va fi setată făcând clic pe "Set from view" cu butonul "Allow any modification" activat. Se creează un canal partea coronară a RCR-ului, conform orientării și diametrului pivotului din fibră de sticlă.

10. Software-ul CAD exportă automat un fișier STL (Figura 7.21) în dosarul desemnat. Se va trimite fișierul STL la o mașină de frezat cu patru axe (CEREC MC XL,

Dentsply Sirona, Germania) și se va freza un bloc de oxid de zirconiu (Katana Zirconia Block, Kuraray Noritake, Japonia). Apoi se va sinteriza partea coronară a RCR-ului din oxid de zirconiu într-un cuptor cu ardere rapidă (CEREC SpeedFire, Dentsply Sirona, Germania).

11. La nivelul dintelui se va evalua adaptarea ambelor componente atât separate cât și împreună.

12. Pivotul din fibră de sticlă se deplasează pasiv prin canalul realizat în grosimea părții coronare a RCR-ului hibrid. Apoi, se așează această parte coronară separat în preparația de la nivelul dintelui, respectând axul de inserție. Piesa din oxid de zirconiu se așează pasiv, acest fapt datorându-se capacității software-ului CAD de a deretentiviza restaurările. Acest pas nu ar trebui să necesite ajustări manuale ale operatorului.

13. O dată ce partea coronară din oxid de zirconiu a RCR-ului se adaptează perfect, se introduce pivotul din fibră de sticlă prin canalul realizat anterior, alunecând de-a lungul acestuia în preparația realizată. Se utilizează un primer de tip MDP pentru oxid de zirconiu (Clearfil Ceramic Primer, Kuraray Noritake, Japonia).

14. Apoi, cele două componente se cimentează simultan cu un ciment rășinic cu priză duală, compatibil atât cu oxidul de zirconiu cât și cu pivoții din fibră de sticlă, cum ar fi Panavia V5 (Kuraray Noritake, Tokyo, Japonia). Se aplică rășină pe suprafața interioară a părții coronare din oxid de zirconiu, prin canal, și pe suprafața exterioară a pivotului din fibră de sticlă. Se împinge pivotul din fibră de sticlă prin canal după ce partea coronară din oxid de zirconiu este plasată în preparație și se polimeriză rășina.

15. După priza cimentului, se secționează cu o freză diamantată pivotul din fibră de sticlă la nivelul ocluzal al restaurării din oxid de zirconiu.

7.3 Discuții

Această metodă reprezintă o modalitate rapidă și simplă de a proiecta cu precizie un RCR hibrid care să conțină o perforație realizată digital conform angulației canalului. Această angulație este supusă unei erori de 5-10 microni, în funcție de suprapunerea celor două scanări. Eroarea este predictibilă și nu are un impact major asupra restaurării definitive [10].

Metoda descrisă reprezintă o metodă inovatoare gândită pentru a depăși neajunsurile procedurilor de scanare directă la nivelul canalelor. Studiile au arătat că

erorile apar frecvent atunci când scannerul înregistrează suprafețe înguste și adânci la nivelul canalelor preparate anterior. Este dificil ca lumina scannerului să ajungă în cele mai profunde zone ale preparației pentru RCR [11,12].

7.4 Concluzii

Al treilea studiu al acestei lucrări de doctorat descrie o tehnică inovatoare realizată în premieră, cu scopul producerii în cabinet a RCR-urilor hibride fără utilizarea niciunui material de amprentă convențional. Metoda este simplă, directă și se poate realiza strict digital, astfel confortul pacientului fiind crescut în comparație cu utilizarea tehnicilor cu materiale clasice de amprentă. De asemenea, cel mai mare avantaj este reprezentat de faptul că reduce numărul de vizite ale pacientului în cabinet, iar pacientul primește restaurarea în aceeași zi.

8. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

Pe baza studiilor realizate în cadrul acestei lucrări de doctorat se pot contura următoarele concluzii:

- Scanarea digitală a preparațiilor dentare cu relief negativ necesare realizării reconstituirilor corono-radiculare este mai dificil de realizat decât scanarea unor suprafețe cu relief pozitiv precum bonturile șlefuite, adesea scanerile intraorale întâmpinând erori.
- Analiza celor 275 de seturi de date rezultate prin scanarea cu cele cinci scanere intraorale incluse în studiu, a arătat diferențe semnificative între scanerile studiate.
- Acuratețea scanerelor intraorale testate în această cercetare științifică a fost studiată conform normelor ISO prin analiza exactității și a preciziei.
- Analiza exactității a identificat diferențe semnificative între scanere, testul ANOVA unifactorială generând o valoare $p < 0,05$ (1.17×10^{-10}), Medit i900 (Medit, Seul, Coreea de Sud) fiind scanerul care a prezentat cele mai mici abateri, urmat de TRIOS 3 și TRIOS 4 (3Shape, Copenhaga, Danemarca), SIRIOS (Straumann, Basel, Elveția).
- Scanerul intraoral care a prezentat cele mai mari abateri față de referință a fost iTero Element 2 (Align, Tempe, SUA), prin urmare se recomandă evitarea folosirea acestuia în scopul scanărilor suprafețelor cu relief negativ precum preparațiile dentare realizate pentru reconstituiri corono-radiculare pentru dinții tratați endodontic.
- Analiza preciziei a identificat diferențe extrem de semnificative între scanere, testul ANOVA unifactorială generând o valoare $p < 0,05$ (5.32×10^{-98}), TRIOS 4 fiind scanerul care a prezentat cele mai mici abateri, urmat de TRIOS 3, Medit i900, iTero Element 2 (Align, Tempe, SUA).
- Scanerul intraoral care a prezentat cea mai mică consistență prin reproductibilitatea scanărilor a fost SIRIOS (Straumann, Basel, Elveția), prin urmare se recomandă evitarea folosirii acestuia în scopul scanărilor suprafețelor cu relief negativ precum preparațiile dentare realizate pentru reconstituiri corono-radiculare pentru dinții tratați endodontic.
- Reconstituirile corono-radiculare realizate din aliaj metalic nu au prezentat o diferență semnificativă atunci când s-a evaluat acceptabilitatea lor de către medicii stomatologi, indiferent de metoda de amprentare folosită, digitală vs convențională. Eșantionul reconstituirilor corono-radiculare din aliaj metalic a fost de 234.

- S-a identificat o diferență semnificativă între amprenta digitală și cea convențională, atunci când s-a evaluat acceptabilitatea de către medicii stomatologi a reconstituirilor corono-radiculare din oxid de zirconiu, eșantionul reconstituirilor analizate fiind de 343.
- Reconstituirile corono-radiculare hibride, care îmbină avantajele oxidului de zirconiu plasat la nivel coronar și avantajele pivoților endodontici din fibră de sticlă, pot fi realizate printr-o tehnică nouă, originală, propusă în această Teză de Doctorat.
- Tehnica nouă propusă pentru realizarea reconstituirilor corono-radiculare hibride nu necesită folosirea unui material de amprenta, fiind 100% digitală, așadar sustenabilă.
- Software-ul CAD necesar pentru design-ul părții coronare poate realiza canalul în masa de oxid de zirconiu, cu o angulație asemănătoare celei a canalului endodontic, astfel pivotul din fibră de sticlă poate fi introdus prin masa de oxid de zirconiu a părții coronare. Angulația este supusă unei erori de 5-10 micrometri, care este predictibilă și nu are un impact clinic defavorabil asupra adaptării reconstituirii corono-radiculare la nivelul țesuturilor dentare. Eroarea este generată de suprapunerea celor două scanări ale dintelui.
- Cimentarea reconstituirilor corono-radiculare hibride, în varianta propusă, este simplificată și nu necesită folosirea mai multor cimenturi din cauza diferenței de material și structură chimică a oxidului de zirconiu, fibrei de sticlă, respectiv a dentinei.
- Folosirea unui primer de tip MDP în timpul cimentării reconstituirilor corono-radiculare hibride este necesară pentru a putea realiza într-un singur timp procedura respectivă.
- Tehnica nouă propusă compensează neajunsurile scanării digitale la nivelul canalelor radiculare înguste cu diametre sub 3mm, unde lumina scannerului nu reușește să pătrundă la nivelul celor mai profunde zone ale preparației, mai ales în cazul preparațiilor adânci.
- Reconstituirea corono-radiculară hibridă poate fi obținută inclusiv într-un cabinet stomatologic ce dispune de mijloacele tehnologice necesare, într-un timp foarte scurt de 2-3 ore, fără implicarea unui laborator de tehnică dentară extern. În comparație, timpul de obținere a unei reconstituirii corono-radiculare din oxid de zirconiu integral durează minim 24 de ore.

Rezultatele obținute confirmă eficiența utilizării aplicațiilor 3D în endodonție, atât din punct de vedere al înregistrării datelor atunci când se dorește amprentarea digitală, cât și în momentul manufacturării noilor restaurări la nivelul dinților tratați endodontic, atât prin metode deja cunoscute, cât și prin metoda inovativă elaborată în această lucrare de doctorat.

Contribuțiile personale din această teză de doctorat sunt, în sinteză, următoarele:

- Realizarea unei comparații standardizate privind exactitatea și precizia a cinci scanere intraorale, în contextul scanării preparațiilor dentare destinate realizării reconstituirilor corono-radiculare – Capitolul 5, paragrafele 5.3 și 5.4.
- Efectuarea unui studiu comparativ, pe un număr de 234 de reconstituiri corono-radiculare realizate din aliaj metalic, pentru analiza acceptabilității acestora de către medicii stomatologi, în funcție de metoda de amprentare – Capitolul 6, paragraful 6.4.
- Realizarea unui studiu comparativ pe un număr de 343 de reconstituiri realizate din oxid de zirconiu, cu analiza diferențelor de acceptabilitate a acestora de către medicii stomatologi, în funcție de amprentarea efectuată (digitală sau convențională) – Capitolul 6, paragrafele 6.4 și 6.5.
- Propunerea unei tehnici originale de realizare digitală a reconstituirilor corono-radiculare hibride, aplicate post-tratament endodontic – Capitolul 7, paragraful 7.2–7.3.
- Validarea experimentală a tehnicii propuse în laborator – Capitolul 7, paragrafele 7.3–7.4.
- Optimizarea procesului de design digital (CAD) al reconstituirilor corono-radiculare și integrarea unui flux complet digital, fără necesitatea utilizării amprenteii convenționale – Capitolul 7, paragraful 7.2.

Aceste contribuții personale reflectă o abordare inovatoare în integrarea aplicațiilor 3D în endodonție și poate oferi o bază solidă pentru continuarea cercetărilor în acest domeniu.

BIBLIOGRAFIE

1. Perlea P, Stefanescu C, Al-Aloul OA, Ionita C, Petre AE. Digital Workflow for Producing Hybrid Posts and Cores. *Healthc Basel Switz*. 2023 Mar 2;11(5):727.
2. Perlea P, Stefanescu C, Petre AE. Clinical Acceptance of Digitally Produced Zirconia and Metal Post and Cores, Based on the Impression Method. *Clin Pract*. 2024 Nov 20;14(6):2533–41.
3. Taha NM, Zohdy MM, Fattah GA. Effect of different intraoral scanners on the trueness of custom post space scans with two different cervical diameters. *Int J Appl Dent Sci*. 2024 Jan 1;10(1):38–43.
4. Emam M, Ghanem L, Abdel Sadek HM. Effect of different intraoral scanners and post-space depths on the trueness of digital impressions. *Dent Med Probl*. 2024;61(4):577–84.
5. Dupagne L, Mawussi B, Tapie L, Lebon N. Comparison of the measurement error of optical impressions obtained with four intraoral and one extra-oral dental scanners of post and core preparations. *Heliyon*. 2023 Feb;9(2):e13235.
6. Goujat A, Abouelleil H, Colon P, Jeannin C, Pradelle N, Seux D, et al. Marginal and internal fit of CAD-CAM inlay/onlay restorations: A systematic review of in vitro studies. *J Prosthet Dent*. 2019 Apr 1;121(4):590-597.e3.
7. Ferrairo BM, Piras FF, Lima FF, Honório HM, Duarte MAH, Borges AFS, et al. Comparison of marginal adaptation and internal fit of monolithic lithium disilicate crowns produced by 4 different CAD/CAM systems. *Clin Oral Investig*. 2021 Apr 1;25(4):2029–36.
8. Farah RI, Alresheedi B. Evaluation of the marginal and internal fit of CAD/CAM crowns designed using three different dental CAD programs: a 3-dimensional digital analysis study. *Clin Oral Investig*. 2023 Jan 1;27(1):263–71.
9. Rosenstiel SF, Land MF, Fujimoto J. *Contemporary Fixed Prosthodontics*. Elsevier Health Sciences; 2006. 1141 p.
10. Rayyan MR, Aldossari RA, Alsadun SF, Hijazy FR. Accuracy of cast posts fabricated by the direct and the indirect techniques. *J Prosthet Dent*. 2016 Sep;116(3):411–5.
11. PINTO A, ARCURI L, CAROSI P, NARDI R, LIBONATI A, OTTRIA L, et al. In vitro evaluation of the post-space depth reading with an intraoral scanner (IOS) compared to a traditional silicon impression. *Oral Implantol*. 2017 Jan 21;10(4):360–8.
12. Jeon JH, Kim HY, Kim JH, Kim WC. Accuracy of 3D white light scanning of abutment teeth impressions: evaluation of trueness and precision. *J Adv Prosthodont*. 2014 Dec;6(6):468–73.