
REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

Rolul materialelor de sigilare în terapia endodontică

Doctorand **Radu Marcel Chisnoiu**

Conducător de doctorat **Prof. univ. dr. Angela Pop**



UMF
UNIVERSITATEA DE
MEDICINĂ ȘI FARMACIE
IULIU HAȚIEGANU
CLUJ-NAPOCA

CUPRINS

INTRODUCERE	15
STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII	
1. Scurt istoric al evoluției tratamentelor stomatologice și al endodonției	19
2. Etapele de bază ale tratamentului endodontic	21
2.1. Prepararea mecanică	21
2.1.1. Obiectivele curățării și conformării canalelor radiculare	21
2.1.2. Determinarea lungimii de lucru	21
2.1.3. Tehnici de preparare	22
2.1.4. Instrumentarul endodontic	23
2.2. Irigarea canalelor radiculare	23
2.3. Atitudinea față de smear-layer	25
2.4. Obturarea canalelor radiculare	26
2.4.1. Sigilanții (Sealerii)	27
2.4.1.1. Sigilanții cu conținut de hidroxiapatită	31
2.4.2. Materialul de umplutură ("miezul" obturației)	32
2.4.3. Tehnici de obturare	33
3. Metode de evaluare a materialelor de obturație endodontică	35
CONTRIBUȚIA PERSONALĂ	
1. Ipoteza de lucru	39
2. Studiul 1. Influența a trei sealeri endodontici asupra vindecării osoase – studiu experimental	41
2.1. Introducere	41
2.2. Ipoteza de lucru	42
2.3. Material și metodă	42
2.4. Rezultate	45
2.5. Discuții	48
2.6. Concluzii	50
3. Studiul 2. Evaluarea adeziunii a trei sealeri endodontici diferiți – studiu comparativ	51

3.1. Introducere	51
3.2. Ipoteza de lucru	52
3.3. Material și metodă	52
3.4. Rezultate	54
3.5. Discuții	57
3.6. Concluzii	58
4. Studiul 3. Măsurarea radioopacității a trei sealeri endodontici utilizând radiografia digitală	59
4.1. Introducere	59
4.2. Ipoteza de lucru	59
4.3. Material și metodă	59
4.4. Rezultate	63
4.5. Discuții	63
4.6. Concluzii	64
5. Studiul 4. Evaluarea imagistică comparativă a trei sealeri diferiți	65
5.1. Introducere	65
5.2. Ipoteza de lucru	66
5.3. Material și metodă	66
5.4. Rezultate	68
5.5. Discuții	71
5.6. Concluzii	72
6. Studiul 5. Analiza electronmicroscopică a interfeței dentină - material de sigilare experimental cu ajutorul microscopiei electronice de baleiaj (SEM)	73
6.1. Introducere	73
6.2. Ipoteza de lucru	74
6.3. Material și metodă	74
6.4. Rezultate	76
6.5. Discuții	78
6.6. Concluzii	79
7. Studiul 6. Evaluarea clinică și radiologică a vindecării leziunilor periapicale ale dinților tratați endodontic utilizând două materiale de obturație radiculară diferite	81
7.1. Introducere	81
7.2. Ipoteza de lucru	82
7.3. Material și metodă	82

7.4. Rezultate	86
7.5. Discuții	89
7.6. Concluzii (eventual)	92
8. Concluzii generale	95
9. Originalitatea și contribuțiile inovative ale tezei	97
REFERINȚE	99

CUVINTE CHEIE: tratament mecanico-antiseptic, sigilant endodontic, obturație radiculară, hidroxiapatită, rășină dual polimerizabilă

INTRODUCERE

Dezvoltarea unui nou material de obturație endodontică analog dentinei, pe bază de hidroxiapatită și o matrice polimeră biocompatibilă s-a dovedit a fi promițătoare în crearea unor noi materiale cu aplicabilitate în endodonție.

Pornind de la această idee, în cadrul acestei teze de față s-au dezvoltat mai multe studii, prin intermediul cărora s-a urmărit evaluarea calităților unui nou material de obturație endodontică cu conținut de hidroxiapatită dezvoltat în colaborare cu Institutul de Cercetări în Chimie "Raluca Ripan" din Cluj-Napoca.

În prima parte s-a revizuit literatura de specialitate dedicată tratamentelor endodontice, punându-se accent pe materialele de obturație folosite în aceste tratamente.

Cea de-a doua parte, cea de contribuții personale, a reprezentat o cercetare asupra caracteristicilor noului material de obturație, evaluând răspunsul tisular osos, radioopacitatea și adeziunea la pereții canalului radicular. De asemenea, s-a apreciat și comparat omogenitatea obturațiilor radiculare efectuate, utilizând radiografia digitală și imaginile obținute cu ajutorul cone beam computed tomografiei (CBCT) și s-a analizat interfața obturație-perete dentinar cu ajutorul microscopiei electronice de baleiaj (SEM). Toate aceste studii s-au efectuat prin comparație cu două materiale de obturație endodontică deja existente pe piață, unul cu largă răspândire printre practicieni și unul din aceeași clasă de materiale ca și noul material. Totodată, s-a efectuat un studiu clinic de apreciere și comparare a tratamentelor endodontice ce au presupus obturarea cu cele două materiale consacrate.

CONTRIBUȚIA PERSONALĂ

Ipoteza de lucru. Scopul acestei teze a constat în testarea în vederea introducerii în practica stomatologică a unui nou material de obturație endodontică cu conținut de hidroxiapatită și compararea acestuia cu alte două materiale deja existente pe piață, unul cu largă răspândire printre practicieni, AH Plus (Dentsply DeTrey GmbH, Konstanz, Germany) și unul din aceeași clasă a rășinilor dual polimerizabile ca și materialul experimental, RealSeal SE (SybronEndo, Orange, CA, USA). Această teză cuprinde:

- (1) evaluarea răspunsului tisular osos în prezența celor trei sealeri endodontici.

- (2) analiza adeziunii celor trei sealeri la pereții dentinari ai canalelor radiculare și la gutapercă.
- (3) evaluarea radioopacității celor trei sigilanți.
- (4) analiza comparativă a imaginilor radiografice și a celor obținute cu ajutorul cone beam computed tomografului (CBCT) în cazul obturațiilor radiculare efectuate cu sigilanții studiați pe dinți extrași.
- (5) analiza interfeței obturație – perete dentinar cu ajutorul microscopiei electronice de baleiaj (SEM).
- (6) analiza comparativă a tratamentelor endodontice realizate cu cei doi sealeri consacrați în cadrul unui studiu clinic

Studiul 1. Influența a trei sealeri endodontici asupra vindecării osoase – studiu experimental

Scop. Acest studiu experimental pe animale de laborator și-a propus să evalueze fenomenul de vindecare osoasă produsă în prezența celor trei materiale de obturație endodontică.

Material și metodă. Am conceput un studiu experimental pe model animal realizat în cadrul Biobazei Disciplinei de Fiziologie din cadrul Universității de Medicină și Farmacie „Iuliu Hațieganu” Cluj-Napoca. Am folosit patruzeci și opt de șobolani rasa Wistar, masculi adulți. După anestezie, s-a efectuat o incizie liniară pe scalp. Buzele plăgii chirurgicale au fost depărtate și s-au efectuat patru osteotomii. Cele patru osteotomii au fost efectuate pe două rânduri și două coloane situate paramedian la 2 mm distanță între ele. Primul orificiu a fost lăsat gol (orificiu de control), iar celelalte trei au fost umplute cu cele trei materiale de obturație endodontică utilizate în studiu. Începând cu a doua săptămână după intervenția chirurgicală, patru șobolani au fost sacrificați la fiecare două săptămâni, ceea ce înseamnă că în săptămâna a douăsprezecea, ultimii patru șobolani au fost eutanasiați. După sacrificare, calota craniană a fost prelevată, iar după prelucrare au fost obținute preparate histopatologice cu colorația hematoxilină-eozină. Fiecare probă a fost examinată în detaliu în ceea ce privește procesul de resorbție osoasă, infiltratul inflamator, precum și procesele de remodelare și formare de os nou.

Rezultate. În general, răspunsul inflamator tisular a variat similar pentru toate grupurile studiate de la o intensitate crescută la primele intervale de 2 și 4 săptămâni, continuând cu reducerea până la dispariție a fenomenelor inflamatorii și chiar apariția pe unele secțiuni a unor structuri osoase noi formate spre finalul intervalului experimental, rezultatele fiind validate statistic.

Concluzii. Biocompatibilitatea noului material de obturație endodontică pe bază de hidroxiapatită este comparabilă cu a celorlalte două materiale deja existente pe piață.

Studiul 2. Evaluarea adeziunii a trei sealeri endodontici diferiți – studiu comparativ

Scop. Evaluarea adeziunii la pereții canalului radicular a celor trei sigilanți endodontici.

Material și metodă. Un număr de 60 de dinți monoradiculari extrași au fost incluși în prezentul studiu. Dinții au fost preparați la lungimea de lucru utilizând sistemul ProTaper® (Dentsply Maillefer) în rotație continuă până la instrumentul F2. Lotul a fost împărțit aleatoriu în trei grupuri a câte 20 de dinți. Fiecare dinte din aceste grupuri a fost obturat radicular. Ca și material de umplutură a canalelor radiculare s-a utilizat gutaperca în combinație cu unul din cei trei sigilanți. Eșantioanele, uscate corespunzător, au fost introduse în blocuri de rășină. Dinții incluși în blocurile de rășină au fost secționati cu ajutorul microtomului în felii de 1 mm, începând dinspre apical spre coronar. Cu ajutorul unui piston cilindric de 0,70 mm grosime, atașat la un aparat de încercări mecanice universal s-a aplicat asupra fiecărei felii de dinte, pe suprafața materialului de umplutură, o solicitare constantă de 0,5 mm/min. până la cedare, determinând apariția forțelor de forfecare atât la interfața sigilant/dentină, cât și la interfața sigilant/material de umplutură.

Rezultate. Cea mai mică valoare medie a forței de retenție s-a înregistrat în cazul AH Plus în zona apicală, iar cea mai mare valoare medie s-a înregistrat în cazul RealSeal SE în treimea medie a rădăcinii. În ceea ce privește interfața la nivelul căreia a avut loc dislocarea obturației – interfața sealer/dentină sau interfața sealer/gutapercă, am observat o adeziune bună la nivelul dentinei în cazul tuturor materialelor.

Concluzii. Adeziunea materialului nostru experimental este comparabilă cu cea a celor două materiale de obturație consacrate.

Studiul 3. Măsurarea radioopacității a trei sealeri endodontici utilizând radiografia digitală

Scop. Scopul acestui studiu l-a reprezentat evaluarea și compararea radioopacității a celor trei sealeri endodontici.

Material și metodă. Din fiecare material s-au realizat câte cinci probe sub formă de disc, cu diametrul de 10 mm și grosimea de 1 mm, respectând indicațiile producătorilor. Discurile de sigilant au fost poziționate împreună cu etaloanele din aluminiu pe un senzor intraoral in vitro. Radioopacitatea a fost determinată prin prelucrarea digitală a radiografiei discurilor studiate, cu ajutorul unei aplicații informatice.

Rezultate. Radioopacitatea medie a AH Plus este cea mai mare, diferențele față de celelalte materiale de obturație endodontică studiate fiind semnificative statistic. Deși au existat diferențe între valorile determinate pentru Real Seal SE și materialul experimental, acestea nu au fost semnificative statistic.

Concluzii. Toate valorile determinate au fost mai mari de 3 mm Al, aşadar toate au respectat standardele ISO.

Studiul 4. Evaluarea imagistică comparativă a trei sealeri diferiți

Scop. Prezentul studiu și-a propus să evalueze calitatea obturațiilor endodontice realizate cu trei sealeri diferiți, utilizând radiografia convențională și CBCT.

Material și metodă. Un număr de 60 de dinți monoradiculari au fost incluși în prezentul studiu. Lotul de 60 de dinți a fost împărțit aleatoriu în trei grupuri a câte 20 de dinți. Fiecare dinte din aceste grupuri a fost preparat endodontic și obturat radicular cu unul din cele trei materiale de sigilare și gutapercă. S-au efectuat radiografii digitale 2D și scanări 3D utilizând CBCT pentru fiecare dinte obturat. Calitatea obturațiilor endodontice efectuate cu fiecare material în parte a fost evaluată analizând imaginile obținute cu ajutorul software-ului UTHSCSA și aplicând o scară de la 0 la 4 ce măsoară densitatea obturației endodontice, prezența și dimensiunea golurilor și adaptarea gutapercii la canalul radicular.

Rezultate. CBCT a oferit date mai exacte pentru toate materialele, dar rezultatele nu au fost semnificative statistic comparativ cu datele obținute cu ajutorul radiografiei 2D.

Concluzii. Noul material de obturație endodontică are o capacitate medie de etanșizare, mai mică decât RealSeal SE, dar mai bună decât AH Plus. CBCT oferă informații folositoare succesului tratamentului endodontic, dar în studiul nostru, rezultatele au fost similare cu cele obținute cu ajutorul radiologiei convenționale atunci când am evaluat calitatea obturației endodontice.

Studiul 5. Analiza electronomicroscopică a interfeței dentină – material de sigilare experimental cu ajutorul microscopiei electronice de baleiaj (SEM)

Scop. Demonstrarea formării stratului hibrid și infiltrarea sigilantului în canaliculii dentinari.

Material și metodă. Un număr de 10 de dinți monoradiculari au fost incluși în prezentul studiu. Fiecare dinte din acest grup a fost obturat radicular cu gutapercă și sigilantul experimental. Dinții incluși în blocurile de rășină au fost secționati cu ajutorul microtomului în felii de 1 mm. Feliile de dinți astfel obținute, au fost pregătite pentru a fi observate la microscopia electronică de baleiaj (SEM).

Rezultate. Prelungirile de sigilant care intersectează stratul hibrid, au o densitate electronică similară cu stratul supraiacent, ceea ce a demonstrat o continuitate a concentrației de nanoparticule de hidroxiapatită spre profunzime. Cu

alte cuvinte, sealerul a intermediat o adaptare completă între structurile dentare și gutapercă.

Concluzii. Formarea stratului hibrid este favorizată și de existența monomerilor hidrofilii și a solventului din componenta sealer-ului, fiind cunoscută imposibilitatea îndepărtării în totalitate a apei reziduale extrinseci din spațiul endodontic.

Studiul 6. Evaluarea clinică și radiologică a vindecării leziunilor periapicale ale dinților tratați endodontic utilizând două materiale de obturație radiculară diferite

Scop. Cercetarea efectului a două materiale de obturație radiculară asupra vindecării leziunilor periapicale, utilizând sistemul de scoring al indexului periapical (PAI).

Material și metodă. Indexul periapical reprezintă o metodă de evaluare radiologică simplă și constă în 5 categorii numerotate de la 1 la 5. A fost selectat un număr de 22 pacienți cu vârsta cuprinsă între 20 și 45 de ani cărora le-am tratat 24 de dinți mono și pluriradiculari, dinți cu gangrenă și patologie periapicală, PAI \geq 3. Obturația radiculară s-a efectuat utilizând cei doi sigilanți consacrați.

Rezultate. Modificările observate la nivel apical nu au diferit semnificativ statistic între cele două materiale. În schimb însă, compararea indecșilor periapicali înregistrați la fiecare interval de timp a relevat o diferență semnificativă statistic comparativ cu situația inițială, pentru ambele loturi.

Concluzii. Rezultatele obținute au fost favorabile și similare. Acest lucru indică faptul că o conduită terapeutică corectă, cu respectarea riguroasă a etapelor de izolare, preparare mecanico-antiseptică și obturare, reprezintă condiția imperios necesară pentru succesul terapeutic.

Concluzii generale

În studiul de față, biocompatibilitatea noului material de obturație endodontică pe bază de hidroxiapatită este comparabilă cu a altor materiale deja existente pe piață, AH Plus cu largă răspândire printre practicieni și RealSeal SE, un sealer cu priză inițiată fotochimic. De asemenea, putem afirma că adeziunea materialului nostru experimental este comparabilă cu cea a celor două materiale de obturație consacrate. Radioopacitatea este o calitate dezirabilă a materialelor de obturație, deoarece această proprietate permite estimarea lungimii, a lățimii și a deficiențelor de obturare în timpul analizei radiologice. Materialele studiate au prezentat radioopacități diferite, AH Plus prezentând cea mai mare radioopacitate, iar materialul experimental cea mai mică radioopacitate. Toate valorile determinate au fost însă mai mari de 3 mm Al, așadar toate au respectat standardele ISO. În prezent, cone-beam computed tomografia

(CBCT) reprezintă cea mai avansată metodă de imagistică medicală, permițând identificarea nu doar a leziunilor periapicale, ci și relativ adevărata dimensiune, amploare și localizare a acestora. Obturația radiculară are rolul de a închide ermetic spațiul endodontic și de a preveni apariția leziunilor periapicale și de a favoriza vindecarea acestora. Particulele de hidroxiapatită din compoziția noului sigilant pătrund în canaliculele dentinare formând un strat hibrid ce favorizează etanșizarea spațiului endodontic.

Succesul unei obturații radiculare corecte, clinic și radiologic, imediat și tardiv, depinde de corectitudinea etapelor preliminare acesteia.

Originalitatea și contribuțiile inovative ale tezei

Folosirea hidroxiapatitei în sigilanților endodontici s-a dovedit a fi promițătoare datorită proprietăților de remineralizare a țesuturilor demineralizate precum smalțul, dentina sau osul, dar și datorită biocompatibilității. Aprecierea calităților unui material se poate face prin comparație cu materiale care au reprezentat obiectul de studiu al mai multor cercetări.

Studiile efectuate în cadrul acestei teze de doctorat aduc o contribuție științifică importantă, noutatea fiind susținută de elaborarea unui nou material de obturație endodontică cu conținut de hidroxiapatită, compararea acestuia cu alte două materiale deja existente pe piață, precum și compararea celor din urmă.

Rezultatele studiului pe model animal au confirmat capacitatea de refacere osoasă în prezența materialelor de obturație endodontică.

Compararea imaginilor radiologice convenționale cu imaginile obținute cu ajutorul cone-beam computed tomografului a obturațiilor radiculare efectuate in vitro cu cele trei materiale reprezintă o premieră. În momentul de față însă, CBCT nu poate fi considerat un înlocuitor al radiografiei digitale., ci, mai degrabă, o investigație adjuvantă în unele situații.

Studiul cu ajutorul microscopiei electronice de baleiaj a relevat periferia canaliculelor dentinare hibridizate și extinderea stratului hibrid pe toată profunzimea zonei demineralizate, cu alte cuvinte, adaptarea completă între structurile dentare și gutapercă prin intermediul noului sealer.

Abordarea temei de cercetare a fost complexă dar unitară, asigurând premisele unor noi direcții în elaborarea materialelor de obturație endodontică.

PhD THESIS SUMMARY

The role of root canal sealers in endodontic therapy

Doctoral candidate **Radu Marcel Chisnoiu**

Doctoral supervisor **Prof. Dr. Angela Pop**



UMF
UNIVERSITATEA DE
MEDICINĂ ȘI FARMACIE
IULIU HAȚIEGANU
CLUJ-NAPOCA

CONTENTS

INTRODUCTION	15
CURRENT STAGE OF KNOWLEDGE	
1. Brief history of the evolution of dental treatment and endodontics	19
2. The basic steps in endodontic treatment	21
2.1. Mechanical preparation	21
2.1.1. Cleaning and shaping of the root canal	21
2.1.2. Working length determination	21
2.1.3. Root canal preparation techniques	22
2.1.4. Instruments used in endodontic treatment	23
2.2. Root canal irrigation	23
2.3. Attitudes regarding smear layer removal	25
2.4. Obturation of the radicular space	26
2.4.1. Sealers	27
2.4.1.1. Hydroxyapatite-containing endodontic sealer	31
2.4.2. Root canal filling material	32
2.4.3. Root canal filling (obturation) techniques	33
3. Methods for the assessment of root canal filling materials	35
PERSONAL CONTRIBUTION	
1. Working hypothesis	39
2. Study 1. Influence of three endodontic sealers on bone healing - an experimental study	41
2.1. Introduction	41
2.2. Working hypothesis	42
2.3. Material and methods	42
2.4. Results	45
2.5. Discussion	48
2.6. Conclusion	50
3. Study 2. Assessment of the wetting behaviour of three different root canal sealers - a comparative study	51
2.1. Introduction	51
2.2. Working hypothesis	52
2.3. Material and methods	52

2.4. Results	54
2.5. Discussion	57
2.6. Conclusion	58
4. Study 3. Measuring the radiopacity of three endodontic sealers using digital radiography	59
2.1. Introduction	59
2.2. Working hypothesis	59
2.3. Material and methods	59
2.4. Results	63
2.5. Discussion	63
2.6. Conclusion	64
5. Study 4. Comparative imaging in the evaluation of three different sealers	65
2.1. Introduction	65
2.2. Working hypothesis	66
2.3. Material and methods	66
2.4. Results	68
2.5. Discussion	71
2.6. Conclusion	72
6. Study 5. Scanning electron microscopic (SEM) evaluation of resin-dentin interface - experimental root canal sealer	73
2.1. Introduction	73
2.2. Working hypothesis	74
2.3. Material and methods	74
2.4. Results	76
2.5. Discussion	78
2.6. Conclusion	79
7. Study 6. Clinical and radiological evaluation of the healing process of periapical lesions after endodontic treatment using two different root canal filling materials	81
2.1. Introduction	81
2.2. Working hypothesis	82
2.3. Material and methods	82
2.4. Results	86
2.5. Discussion	89
2.6. Conclusion (possibly)	92
8. General conclusion	95

9. Originality and innovative contribution	97
REFERENCES	99

KEY WORDS: mechanical and antiseptic treatment, endodontic sealer, obturation of the radicular space, hydroxyapatite, dual-polymerized resin

INTRODUCTION

The introduction of a new hydroxyapatite-based root canal filling material with similar bond strength to dentin and with a biocompatible polymer matrix has proven promising in what concerns the design of new materials for various applications in endodontics.

Based on this idea, several studies have been developed as part of this thesis aiming to assess the properties of a new hydroxyapatite-based root canal filling material designed in collaboration with "Raluca Ripan" Institute for Research in Chemistry, Cluj-Napoca.

Firstly, a review of the literature on endodontic treatments was undertaken, focusing on root canal filling materials used in endodontic treatments.

Secondly, the part regarding individual contributions consisted of a research on the characteristics of the new filling material, assessing bone tissue response, radiopacity and adherence to the root canal walls. The homogeneity of root canal fillings was also assessed and compared using digital radiography and images obtained using cone beam computed tomography (CBCT). The root canal filling-dentin wall interface was analysed using scanning electron microscopy (SEM). All these studies were carried out by comparison with two endodontic filling materials that already exist in the market, one that is widely used by practitioners and another one from the same class of materials as the newly developed material. A clinical trial was also performed, assessing and comparing endodontic treatments that involved root canal filling using the two conventional materials.

PERSONAL CONTRIBUTION

Working hypothesis. The aim of this thesis was to test the introduction of a new hydroxyapatite-based root canal filling material into dental practice and to compare it with two other endodontic materials that are already in the market, one that is widespread among practitioners, AH Plus (Dentsply DeTrey GmbH, Konstanz, Germany) and another one from the same class of dual-polymerised resins as the experimental material, RealSeal SE (SybronEndo, Orange, CA, USA). This thesis includes:

- (1) evaluation of bone tissue response to the three endodontic sealers
- (2) analysis of the adhesion of the three sealers to root canals walls and to gutta-percha

- (3) evaluation of the radiopacity of the three root canal sealers
- (4) comparative analysis of the radiographic images and the images obtained using cone beam computed tomography (CBCT) for root canal fillings performed on extracted teeth using the studied sealers
- (5) analysis of the filling material-root canal wall interface using scanning electron microscopy (SEM)
- (6) comparative analysis of endodontic treatments carried out in a clinical trial using the two conventional sealers

Study 1. Influence of three endodontic sealers on bone healing - an experimental study

Purpose. This experimental study involving laboratory animals aims to assess the bone healing process produced in the presence of the three materials used for root canal obturation.

Material and methods. We designed an experimental study based on an animal model conducted within the Biobase of the Department of Physiology of "Iuliu Hatieganu" University of Medicine and Pharmacy, Cluj-Napoca. We used forty-eight adult male Wistar rats. After anaesthesia, a linear scalp incision was performed. The edges of the surgical wound were pulled apart and four osteotomies were performed. Double row and double column osteotomies were performed using a paramedian approach, 2 mm apart from each other. The first orifice was left empty (control orifice) and the other three were filled with the three endodontic obturation materials used in the study. Starting with the second week after surgery, four rats were sacrificed every two weeks, with the last four rats being euthanized in the twelfth week. After sacrifice, the skull was removed and histopathological specimens were obtained after processing using hematoxylin-eosin staining. Each sample was examined in detail in terms of bone resorption, inflammatory infiltration, remodeling processes and new bone formation.

Results. Generally, the inflammatory response varied similarly in all groups studied, with a higher intensity in the first 2 and 4-week intervals and a decrease in intensity to a complete disappearance of the inflammatory process and even the appearance of new bone structures on some sections towards the end of the experiment. The results underwent statistical validation.

Conclusion. The biocompatibility of the new hydroxyapatite-based root canal filling material is comparable to that of the other two materials that are in use in the market.

Study 2. Assessment of the wetting behaviour of three different root canal sealers - a comparative study

Purpose. Assessment of the wetting behaviour of three different root canal sealers.

Material and methods. A total of 60 extracted monoradicular teeth were included in this study. The teeth were prepared to working length using an F2 ProTaper instrument (Dentsply Maillefer) in continuous rotation. The group was divided randomly into three groups of 20 teeth. Each tooth of these groups was subjected to the obturation of the radicular space. Gutta-percha was used as root canal filling in combination with one of the three sealants. After they were dried properly, the samples were introduced into the resin blocks. The teeth submersed in these resin blocks were sectioned (apical to coronal) into 1 mm slices using a microtome. By means of a 0.70 mm thick cylindrical piston attached to a universal mechanical testing machine, a constant load of 0.5 mm/minute was applied for each slice of tooth, on the surface of the filler material, maintained until failure, causing shear forces at both sealant / dentine interface and sealant / filler interface.

Results. The lowest average retention force value was recorded in the case of AH Plus in the apical space, while the highest average value was recorded for RealSeal SE in the middle third of the root. Regarding the interface where dislocation occurred - sealer / dentin interface or sealer / gutta-percha interface - good adhesion to dentin was observed in all materials.

Conclusion. The adhesion of the experimental material is comparable to that of the two conventional root canal filling materials.

Study 3. Measuring the radiopacity of three endodontic sealers using digital radiography

Purpose. The aim of this study was to assess and compare the radiopacity of the three endodontic sealers.

Material and methods. Five disc-shaped samples, 10 mm in diameter and 1 mm in thickness, were made for each material, following the instructions of the manufacturers. The sealing discs were positioned together with standard aluminium on an intraoral sensor in vitro. Radiopacity was determined by X-ray digital processing of the discs studied using a computer application.

Results. The average radiopacity of AH Plus is the biggest and the differences from the other endodontic obturation materials studied were statistically significant. Although there were differences between the values determined for Real Seal SE and the experimental material, these were not statistically significant.

Conclusion. All values determined were greater than 3 mm aluminium, so they all comply with ISO standards.

Study 4. Comparative imaging in the evaluation of three different sealers

Purpose. This study aimed to assess the quality of endodontic fillings performed with three different sealers, using conventional radiography and cone-beam computed tomography (CBCT).

Material and methods. A total of 60 monoradicular teeth were included in this study. The 60-teeth sample was divided randomly into three groups of 20 teeth each. Every tooth in these groups underwent endodontic preparation and radicular obturation was performed with one of three root canal filling materials and gutta-percha. 2D digital radiographs and 3D scans using CBCT were obtained for each tooth undergoing root canal filling. The quality of the endodontic filling performed with each material separately was assessed by analysing the images obtained using the UTHSCSA software and applying a 0 to 4 scale measuring the density of the obturation, the presence and size of voids and the adaptation of the gutta-percha to the root canal.

Results. CBCT provided more accurate data for all materials, but results were not statistically significant compared with data obtained using 2D radiography.

Conclusion. The new endodontic obturation material has a lower average sealing capacity than RealSeal SE, but better than AH Plus. CBCT provides useful information for the success of the endodontic treatment, but in our study, the results were similar to those obtained using conventional radiology when we assessed the quality of root canal obturation.

Study 5. Scanning electron microscopic (SEM) evaluation of resin-dentin interface - experimental root canal sealer

Purpose. The aim of the study was to emphasize the formation of a hybrid layer and the infiltration of the sealant into dental canaliculi.

Material and methods. A total of 10 monoradicular teeth were included in this study. Each tooth in this group underwent radicular obturation using gutta-percha and the experimental sealant. The teeth submerged in resin blocks were sectioned into 1 mm slices using a microtome. Tooth slices thus obtained were prepared to undergo scanning electron microscopy (SEM).

Results. Sealing extensions intersecting the hybrid layer have an electron density similar to the overlying layer, which demonstrated an in depth continuation of the hydroxyapatite-based nanoparticle composite. In other words, the sealer accomplished a complete adaptation between the tooth structure and the gutta-percha.

Conclusion. The formation of the hybrid layer is also favoured by the existence of hydrophilic monomers and of the solvent that the sealer contains. It is well-known that it is impossible to completely remove extrinsic wastewater from root canal spaces.

Study 6. Clinical and radiological evaluation of the healing process of periapical lesions after endodontic treatment using two different root canal filling materials

Purpose. The aim of the study was to examine the effect of two root canal filling materials on periapical wound healing using the periapical index scoring system (PAI).

Material and methods. The periapical index is a simple radiological examination method that consists of 5 categories numbered 1 to 5. A total of 22 patients were enrolled in the study. They were aged between 20 and 45 years. In these

patients, 24 monoradicular and pluriradicular teeth, gangrenous teeth and teeth with periapical pathology were treated, obtaining a PAI ≥ 3 . Radicular obturation was performed using the two conventional sealers.

Results. The changes observed in the apical space did not differ significantly between the two filling materials. On the other hand, the comparison of the periapical indexes recorded for each time interval revealed a statistically significant difference when compared with baseline values in both groups.

Conclusion. The results were favourable and similar. This indicates that a correct therapeutic conduct that strictly follows all the stages (isolation, mechanical and antiseptic preparation and obturation) is required in order to attain therapeutic success.

General conclusion

In the present study, the biocompatibility of the new hydroxyapatite-based root canal filling material is comparable to that of other materials already in use in the market, AH Plus, widespread among practitioners and RealSeal SE, a photochemically adhesive sealer. We can also say that the adhesion of our experimental material is comparable to that of the two conventional fillings. Radiopacity is a desirable quality of filling materials as it allows the estimation of the length, width and obturation weaknesses during radiological analysis. The materials studied had different radiopacities, AH Plus showing the highest value and the experimental material the lowest. All values determined exceeded 3 mm of aluminium, so they all complied with ISO standards. Currently, cone-beam computed tomography (CBCT) is the most advanced medical imaging method, enabling the identification of not only periapical lesions, but also their relatively true size, scale and location. Radicular obturation is meant to hermetically seal the endodontic space and to prevent periapical lesions from occurring, as well as to help healing them. Hydroxyapatite particles that the new sealant contains penetrate dentinal tubules and form a hybrid that favors the sealing of the endodontic space.

The success rate of immediate and delayed root canal filling that is clinically and radiologically accurate depends on the correctness of its early phases.

Originality and innovative contribution

The use of hydroxyapatite in endodontic sealers proved to be promising due to its properties that help remineralize demineralized tissues such as enamel, dentine or bone, but also due to its biocompatibility. The qualities of a material can be assessed by comparison with materials that were the subject of other research works.

Studies in this thesis are of important scientific contribution, the novelty lying in the development of a new hydroxyapatite-based endodontic filling material and the comparison with other two root canal sealers in use in the market.

The results of the study conducted on an animal model confirmed the efficiency of bone reconstruction in the presence of endodontic filling materials.

The comparison between conventional radiologic images and the images obtained using cone-beam computed tomography of root canal fillings performed in vitro using the three materials is a first performance. At the moment, however, CBCT can not be considered a substitute for digital radiography, but rather an additional investigation in some instances.

The study conducted using scanning electron microscopy highlighted the periphery of hybridized dentinal tubules and the expansion of the hybrid layer throughout the depth of the demineralized area, in other words, full adaptation between tooth structure and gutta-percha by means of the new sealer.

The approach of the research theme was complex but consistent, providing the premises for new directions in developing endodontic filling materials.