



M.L. Siers

# Onderzoeksmethoden in de tandheelkunde 4

## Methoden om de afsluiting van vulmaterialen in het wortelkanaal te evalueren

### Samenvatting

Trefwoorden:

- Endodontologie
- Wortelkanaalvulling
- Materiaalkunde

Uit de afdeling Cariologie en Endodontologie van het Universitair Medisch Centrum Sint Radboud in Nijmegen.

Voor het plaatsen van afbeelding 1 is toestemming verkregen van het *International Endodontic Journal*.

Datum van acceptatie: 31 augustus 2004.

Adres:  
Mw. M.L. Siers  
UMC St Radboud  
Huispost 117  
Postbus 9101  
6500 HB Nijmegen  
m.siers@dent.umcn.nl

In het verleden is veel onderzoek verricht naar de afsluiting van het wortelkanaal. Dit betreft voornamelijk *in vitro*-onderzoeken. Deze zijn relatief gemakkelijk uit te voeren, in tegenstelling tot *in vivo*-onderzoeken. Om vast te stellen welke afsluiting van het wortelkanaal het beste resultaat geeft, zijn er veel technieken gebruikt. Uiteindelijk blijken de uitkomsten moeilijk te vertalen naar de klinische situatie. De resultaten van het klinisch onderzoek naar het succes van de wortelkanaalbehandeling zijn moeilijk te rijmen met de uitkomsten van het *in vitro*-onderzoek naar de afsluiting van het wortelkanaal. Het ontwerpen van een onderzoek waarvan de uitkomst een grotere klinisch voorspellende waarde bezit, blijft het streven.

SIERS ML. Onderzoeksmethoden in de tandheelkunde 4. Methoden om de afsluiting van vulmaterialen in het wortelkanaal te evalueren. *Ned Tijdschr Tandheelkd* 2004; 111: 392-395.

### Inleiding

Behandeling van een geïnfecteerd wortelkanaal betekent bestrijding van ongewenste bacteriën in het wortelkanaal. Nadat het wortelkanaal zo goed mogelijk is gereinigd, vormen de aangebrachte wortelkanaalvulling en de coronale restauratie belangrijke barrières tegen herinfectie van het wortelkanaal. In verschillende onderzoeken, waaronder het zogenaamde Washington-onderzoek (Ingle, 1985), werd een aantal mislukte endodontische behandelingen beschreven. Omdat deze mislukkingen meestal een onvoldoende wortelkanaalvulling lieten zien en omdat uit een eerder *in vitro*-onderzoek bleek dat bij een onvoldoende wortelkanaalvulling sprake is van lekkage (Dow en Ingle, 1955), concludeerden de onderzoekers dat endodontische behandelingen vooral mislukken door een onvoldoende afsluiting van het wortelkanaal. In dit onderzoek wijt Ingle ongeveer 60% van de mislukkingen hieraan. Door de slechte afsluiting van het wortelkanaal zouden apicale lekkage en percolatie optreden, waardoor herinfectie van de wortelkanalen plaats zou vinden. Omdat het voorkomen van apicale lekkage een van de belangrijkste sleutels tot succes leek, zijn heel veel lekkage-onderzoeken uitgevoerd, gericht op het evalueren van de apicale afsluiting van het wortelkanaal. De resultaten van deze onderzoeken worden door fabrikanten en klinici gebruikt om beweringen over de superioriteit van hun product kracht bij te zetten.

### Onderzoeksmethoden

Er bestaan verschillende methoden om een wortelkanaal te vullen. Het vulmateriaal bestaat in de meeste gevallen uit een wortelkanaalsealer in combinatie

met een steviger materiaal, meestal guttapercha. Specifieke richtlijnen waaraan de permanente vulling van het wortelkanaal moet voldoen, zijn in 1986 opgesteld door de International Organisation for Standardization (ISO; dit is een wereldwijde federatie van nationale standaarden in verschillende gebieden, waaronder de tandheelkunde). Specifieke richtlijnen voor de mate waarin een wortelkanaalvulling werkelijk moet afsluiten, zijn er echter niet. Dit komt waarschijnlijk door het gebrek aan goede gestandaardiseerde methoden om de afsluiting van het wortelkanaal te testen. In de literatuur zijn verschillende experimenten gedaan om apicale lekkage te onderzoeken. Het testen van de afsluiting van het wortelkanaal is zeer moeilijk uit te voeren in een klinisch onderzoek. Er zijn meestal te veel variabelen die moeilijk onafhankelijk van elkaar zijn te onderzoeken en het vergt een lange observatietijd, wat de kans op uitval van patiënten sterk vergroot. Er is slechts een gering aantal klinische onderzoeken uitgevoerd, waarbij dieren werden gebruikt. Ook bij dierproeven is er sprake van veel verschillende variabelen die de uitkomsten kunnen beïnvloeden. De meeste onderzoeken zijn daarom *in vitro* uitgevoerd. Daarbij wordt over het algemeen gebruikgemaakt van geëxtraheerde elementen van mensen en soms van dieren, of er wordt gebruikgemaakt van een model van bijvoorbeeld plastic of glas waarin een wortelkanaal wordt nagebootst. Bij dit soort *in vitro*-onderzoeken wordt de mate van microlekkage langs de wortelkanaalvulling onderzocht. Globaal zijn de volgende onderzoeksmethoden te onderscheiden:

- Kleurstofpenetratietechniek
- Elektrochemische techniek
- Radioactieve isotopen
- Bacteriën en bacterieproducten
- Vloeistofdruktechniek

### Kleurstofpenetratie

Kleurstofpenetratie is de meest gebruikte techniek. De techniek is eenvoudig uit te voeren, heeft een grote sensitiviteit en is goedkoop (Matloff *et al.*, 1982). Het is gebaseerd op de aanname dat de diepte van de kleurstofpenetratie overeenkomt met de ruimte tussen de wortelkanaalvulling en de dentinewanden. Er worden wortels geprepareerd en het wortelkanaal wordt gevuld. Daarna wordt het worteloppervlak afgelakt met nagellak of was, behalve het apicale gebied. Een wortel die als negatieve controle dient, wordt in zijn geheel afgelakt en een wortel die als positieve controle fungeert, bestaat uit een geprepareerd en afgelakt element, net zoals in de experimentele groep, maar zonder dat het wortelkanaal gevuld is. De wortels worden in een kleurstof gelegd of gehangen gedurende een bepaalde tijd, waarna de kleurstofpenetratie wordt geanalyseerd. Veel gebruikte kleurstoffen zijn methyleen blauw en Oost-Indische inkt. Het is ook mogelijk om gebruik te maken van zilvernitraat dat onder een stereomicroscop als donkere verkleuring kan worden gemeten of er kan gebruik worden gemaakt van speeksel dat later door hematoxyline en eosine wordt gekleurd.

Er zijn verschillende manieren om de resultaten van een kleurstoftechniek te analyseren. De elementen kunnen worden doorgeslepen. Dit kan zowel in de lengterichting van het element als dwars op de lengterichting plaatsvinden. Wanneer het element in de lengterichting wordt doorgeslepen, wordt de lineaire penetratie van de kleurstof gemeten. Een nadeel van deze techniek is dat er maar een klein deel van de wortelkanaalvulling wordt bekeken. Daarnaast bestaat het risico dat er door de slijptechniek versleping van de kleurstof optreedt, zodat de kleurstof verder lijkt te komen dan in werkelijkheid. Ook kan er kleurstof worden uitgewassen, waardoor de kleuring juist minder lijkt. Dit geldt ook voor het dwars op de lengterichting doorslijpen van de wortels. Bij deze laatste techniek moet ook rekening worden gehouden met het verlies aan materiaal door de zaagsnede en het eventueel warm worden van de guttapercha door een onzorgvuldige techniek. De elementen kunnen ook met behulp van een 'clearing-techniek' worden geanalyseerd. De elementen worden dan doorzichtig gemaakt door een chemisch proces, waarna metingen kunnen worden verricht (Tagger *et al.*, 1983). Omdat bij geen van deze methoden het volume van de gepenetreerde markers kan worden geanalyseerd, spreekt men van een semi-kwantitatieve onderzoeksmethode. Dit werkt een grote variëteit van uitkomsten in de hand. Deze methode is daardoor minder reproduceerbaar (Wu *et al.*, 1993). Bovendien is de keuze van de manier waarop de apicale lekkage moet worden geanalyseerd belangrijk. Verschillende analysemethoden zorgen voor verschillende uitkomsten, zelfs tussen de verschillende proeven in een en hetzelfde onderzoek (Tamse *et al.*, 1998).

### Elektrochemische techniek

Een niet-gevulde ruimte rond de vulling resulteert in het optreden van een continue elektrolytische stroom. Die elektrische stroom door de niet-opgevlude ruimte kan kwantitatief worden gemeten. Jacobsen en von Fraunhofer (1976) beschreven een elektrochemische techniek hiervoor. Na het vullen wordt het coronale tweederde van de wortelkanaalvulling weer verwijderd om ruimte te maken voor een staaldraad die als elektrode (anode) dient. Het gehele worteloppervlak, behalve een gebied net rond de apex, wordt gecoat met een ondoordringbaar medium. De tand wordt dan ondergedompeld in een kaliumchloride-oplossing, samen met een roestvrijstalen draad die als kathode fungeert. De elektroden worden verbonden met een voedingsunit. Als de kaliumchloride-oplossing het gevulde wortelkanaal kan binnendringen en de anode kan bereiken, zal er een stroom gaan lopen in het systeem. De tijd die verstrijkt tussen het onderdompelen en het moment dat de stroom gaat lopen, levert de snelheid op waarin kaliumchloride binnendringt. De grootte van de stroom geeft de mate van penetratie. Het is een kwantitatieve techniek om de lekkage te meten.

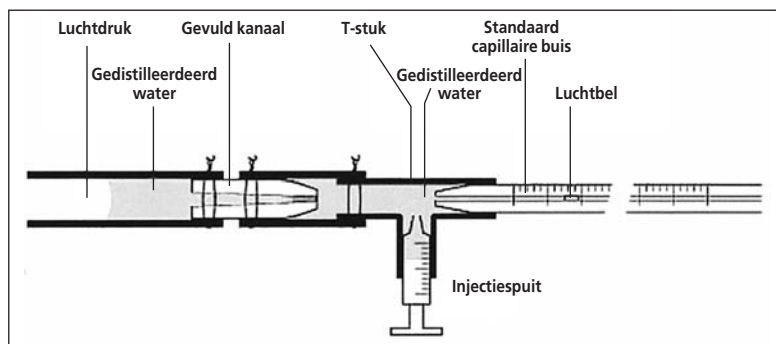
Er zijn een paar moeilijkheden. Er kan accumulatie van corrosieproducten optreden rond de anode die interfereert met het resultaat en het is mogelijk dat de testcondities het oplossen van zinkoxide-eugenol sealers veroorzaken (Amditis *et al.*, 1993). Er zijn echter weinig onderzoeken beschikbaar (Wu *et al.*, 1993).

### Radioactieve isotopen

Radioactieve isotopen worden gebruikt op een vergelijkbare manier als de kleurstoffen. Nadat de isotoopoplossing is verwijderd, worden de elementen dwars op de lengterichting doorgeslepen en geplaatst op een röntgenfilm zodat er een röntgenbeeld wordt gevormd (Matloff *et al.*, 1982). Er zijn hiervoor verschillende experimenten en verschillende isotopen gebruikt. Een andere manier is het plaatsen van de radioactieve stof in het wortelkanaal. Het element wordt in een vloeistof gehangen en in verschillende intervallen wordt de vloeistof onderzocht op radioactiviteit als indicatie voor lekkage (Al-Ghamdi en Wennberg, 1994). De keuze van de isotoop, de afstand van de sectie van het element tot de emulsie van de film en de lengte van de filmbelichting kunnen het beeld beïnvloeden en zorgen voor verschillen in uitkomsten (Delivanis en Chapman, 1982).

### Bacteriën en bacterieproducten

Er zijn ook experimenten uitgevoerd met behulp van bacteriën om het meer op de natuurlijke situatie te laten lijken. In de meeste testen met bacteriën of bacterieproducten wordt een reservoir geplaatst op het coronale gedeelte van het gevulde element. Apicaal wordt



Afb. 1. Vloeistoftransportmodel voor het aantonen van lekkage (Bron: Wu et al, 2000).

er na verschillende bewerkingen en intervallen gemeen of er lekkage vanuit het coronale reservoir optreedt. Deze experimenten meten niet de mate van doorgankelijkheid van de kanaalvulling voor bacteriën, maar of er een doorgankelijkheid is. Het geeft dus niet goed weer wat de werkelijke kwaliteit van de wortelkanaalvulling is. Uit onderzoek blijkt ook dat de testen met kleurstof en de testen met bacteriën geen overeenkomst vertonen in de uitkomsten in een en hetzelfde experiment (Pommel et al, 2001).

Verscheidende experimenten zijn door onderscheidende onderzoeksmethoden maar heel moeilijk met elkaar te vergelijken. Zo worden er bijvoorbeeld elementen gebruikt die wat de lengte van de gebruikte wortels en de herkomst (mens, dier of kunstmatig) betreft van elkaar verschillen. In experimenten worden verschillende materialen gebruikt om het wortelkanaal mee te vullen. Bovendien is het belangrijk om te weten of het foramen apicale doorgankelijk is of niet. Er is een groot verschil tussen de onderzoeken wat betreft de tijd die verstrijkt tussen het moment dat het wortelkanaal is gevuld en het moment dat het blootgesteld wordt aan de stof die lekkage moet aantonen. Er worden verschillende soorten kleurstoffen en radio-isotopen van verschillende grootte gebruikt, er kan ionenuitwisseling door chemische reactie plaatsvinden en er wordt gebruikgemaakt van kleurstoffen met verschillende pH en verschillende chemische reactiviteit gebruikt. De aan- of afwezigheid van de smeerlaag wordt niet meegenomen. Er wordt meestal niet vermeld of tijdens het experiment elementen worden blootgesteld aan cyclische temperatuurswisseling of dat er een bepaalde belasting wordt toegepast (Wu et al, 1993).

Indicatoren doen op verschillende manieren hun werk. Om lekkage aan te tonen kunnen op een passieve manier elementen in de indicatievloeistof worden gehangen of worden ondergedompeld. Het is allemaal gebaseerd op capillaire actie en diffusie. Als de ruimte tussen de wortelkanaalvulling en de kanaalwand droog is, kan capillaire actie plaatsvinden. Als deze gevuld is met vocht, kan diffusie optreden (O'Brien et al, 1968). Een punt van kritiek dat op deze manier van testen kan bestaan is het negeren van de aanwezigheid van ingesloten lucht of vocht tussen het wortelkanaal en de kanaalwand (Goldman et al, 1989; Spangberg et al, 1989; Oliver en Abott, 1991). De ingesloten lucht of vocht kan verhinderen dat indicatoren voor het aantonen van lekkage in alle bestaande ruimten tussen de wortelkanaalvulling en de kanaalwand kunnen doordringen. Volgens deze onderzoekers is het onmogelijk

enige waarde aan een experiment toe te kennen als de ingesloten lucht of vocht door middel van onderdruk niet is verwijderd uit het kanaal. Er zijn ook onderzoekers die zeggen dat het niets uitmaakt of de ingesloten lucht wel of niet wordt verwijderd (Peters en Harrison, 1992; Dickson en Peters, 1993). Wu et al (1994) verklaren de bevindingen van Peters door de goede afsluiting van de gebruikte wortelkanalen. Omdat de afsluiting bij beide groepen zeer goed is, discrimineren de onderzoeksresultaten niet. Er is dus geen overeenstemming tussen de onderzoekers wat betreft de noodzaak van het toepassen van negatieve druk tijdens het experiment om de ingesloten lucht te verwijderen.

### Vloeistofdruktechniek

Pashley et al (1987) waren de eersten die een vloeistoftransportmodel beschreven. Dit werd gebruikt voor de evaluatie van lekkage langs coronale restauraties en vloeistoftransport door dentinetubuli. De methode maakt gebruik van positieve druk. Later is dit aangepast en beschreven voor de meting van lekkage van de wortelkanaalvulling door Wu (Wu et al, 1993). Het zou belangrijker kunnen zijn het volume van de vloeistof te meten dat verschijnt aan het apicale deel van de wortel, in plaats van alleen te meten of er vloeistofdoorgankelijkheid is. Zo kan een betere uitspraak worden gedaan over de mate waarin de wortelkanaalvulling afsluit. Onder een van het experiment afhankelijk druk, uitgedrukt in kPa (= atm), wordt gedistilleerd water geforceerd door een plastic buis die is bevestigd aan het coronale einde van een gevulde wortel. Het apicale deel van de wortel is vastgemaakt aan een andere plastic buis die is bevestigd aan een glazen buis van uniforme diameter en 170 mm lengte. Een luchtbel van 3 mm lang wordt geïntroduceerd door het open einde van het buisje en in de juiste positie gebracht in de buis. Het hele apparaat wordt in een waterbad van 20°C gezet. Deze temperatuur wordt gekozen omdat metingen bij een temperatuur van 37°C gelijk waren aan de uitkomsten van de metingen bij 20°C. De druk van 120 kPa forceert het water door elke open ruimte in het wortelkanaal. Als dit gebeurt langs de wortelkanaalvulling verandert de luchtbel van plaats. Het volume van dit transport wordt gemeten door de beweging van de luchtbel te observeren (afb. 1). De belangrijke variabelen die het vloeistoftransport beïnvloeden, zijn in de volgende formule weergegeven:

$$V = \frac{\eta Pr^4}{8L\eta}$$

Hierbij staat de V voor het volume van het transport door de eventuele aanwezige open ruimte. P is het drukverschil aan het eind van de open ruimte. L is de lengte en r is de radius van de open ruimte.  $\eta$  is de viscositeit van de vloeistof (water).

Er zijn waarden afgesproken waarbij een vulling 'bacteriedicht' wordt genoemd. Het model werd gekalibreerd door metingen te doen met een bekende hoeveelheid vloeistof in ongevolde elementen. Het nadeel van dit model is dat het alleen de volledig doorgankelijk

ke open ruimte meet en niet de gedeeltelijk ingesloten luchtbellen in de wortelkanaalvulling. Wu heeft in 1994 aangetoond dat het vloeistoftransportmodel sensitiever is voor het aantonen van apicale lekkage dan voor kleurstofpenetratie. In 1993 toonde hij al aan dat het ook sensitiever is dan een model waarbij bacteriën worden gebruikt.

## Conclusie

Veel onderzoekstechnieken die gericht zijn op de kwaliteit van de afsluiting van het wortelkanaal blijken geen consistente onderzoeksgegevens op te leveren. Zelfs het uitvoeren van exact hetzelfde experiment door dezelfde onderzoeker geeft ongelijke uitkomsten. Het onderzoeksontwerp van bijna ieder experiment verschilt nogal, zodat de onderzoeksresultaten onderling nauwelijks vergeleken kunnen worden. Als er al resultaten zijn, blijken deze moeilijk te vertalen naar de klinische situatie.

In klinische onderzoeken wordt over endodontische behandelingen een hoog succespercentage gemeld. Dat komt niet overeen met het *in vitro*-onderzoek naar apicale lekkage, waarbij meestal juist een hoog percentage lekkage wordt aangetoond. Het is derhalve duidelijk dat de onderzoeksresultaten naar het afsluiten van vulmaterialen verbeterd moeten worden, omdat deze niet naar de klinische situatie zijn te vertalen. Ook Pitt Ford kon in 1983 geen overeenkomst aantonen tussen de onderzoeken *in vitro* en de resultaten *in vivo*. Het vloeistoftransportmodel lijkt meer consistente bevindingen op te leveren, maar de vertaling naar de klinische resultaten blijft steeds moeilijk.

Onvoldoende gevulde kanalen zijn meestal het gevolg van inadequate preparatie van het wortelkanaal. Een zo goed mogelijk aangebrachte driedimensionale bacteriedichte vulling moet voorkomen dat nog achtergebleven bacteriën opnieuw kunnen uitgroeien tot een aantal dat pathologie kan veroorzaken. Het moet nieuwe bacteriën onmogelijk maken het kanaal opnieuw te infecteren. Een goede afsluiting van het wortelkanaal, niet alleen apicaal, maar zeker ook coronaal is daarom van groot belang.

Het streven moet blijven om een goede onderzoekstechniek te ontwikkelen die vertaald kan worden naar de klinische situatie. Pas bij een eenduidig onderzoeksontwerp en heldere resultaten zijn we in staat onze endodontische behandelingsstrategieën te verbeteren.

## Literatuur

- ALI GHAMDI A, WENNERBERG A. Testing of sealing ability of endodontic filling materials. *Endod Dent Traumatol* 1994; 10: 249-255.
- AMDTIS C, BRYANT RW, BLACKLER SM. The assessment of apical leakage of root-filled teeth by the electrochemical technique. *Aust Dent J* 1993; 38: 22-27.
- DELIVANIS PD, CHAPMAN KA. Comparison and reliability of technique for measuring leakage and marginal penetration. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1982; 53: 410-416.
- DICKSON SS, PETERS DD. Leakage evaluation with and without vacuum of two gutta-percha fill techniques. *J Endod* 1993; 19: 398-403.
- DOW PR, INGLE JL. Isotope determination of root canal failure. *J Oral Surg* 1955; 8: 1100-1104.
- GOLDMAN M, SIMMONDS S, RUSH R. The usefulness of dye penetration studies reexamined. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1989; 67: 327-332.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Dental root canal sealing materials. Reference no. ISO 6876-1986. 1986
- INGLE JI, BEVERIDGE EE, GLICK DN, WEICHMAN JA, ABOU-RASS M. Modern endodontic therapy. In: Ingle J, Taintor JF (eds.). *Endodontics*. Philadelphia: Lea en Febiger, 1985.
- JACOBSEN SM, FRAUNHOFER JA VON. The investigation of microleakage in root canal therapy. An electrochemical technique. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1976; 42: 817-823.
- MATLOFF IR, JENSEN JR, SINGER L, TABIBI A. A comparison of methods used in root canal sealability studies. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1982; 53: 203-208.
- OLIVER CM, ABBOTT PV. Entrapped air and its effect on dye penetration of voids. *Endod Dent Traumatol* 1991; 7: 135-138.
- OLIVER CM, ABBOTT PV. Correlation between clinical success and apical dye penetration. *Int Endod J* 2001; 34: 637-644.
- PETERS LB, HARRISON JW. A comparison of leakage of filling materials in demineralised and non-demineralised resected root ends under vacuum and non-vacuum conditions. *Int Endod J* 1992; 25: 273-278.
- PITT FORD TR. Relation between seal of root fillings and tissue response. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1983; 55: 291-294.
- POMMEL L, JACQUOT B, CAMPS J. Lack of correlation among three methods for evaluation of apical leakage. *J Endod* 2001; 27: 347-350.
- SPANGBERG LS, ACIERNO TG, YONGBUM CHA B. Influence of entrapped air on the accuracy of leakage studies using dye penetration methods. *J Endod* 1989; 15: 548-551.
- TAGGER M, TAMSE A, KATZ A, TAGGER E. An improved method of three-dimensional study of apical leakage. *Quintessence Int* 1983; 14: 981-998.
- TAMSE A, KATZ A, KABLAN F. Comparison of apical leakage shown by four different dyes with two evaluating methods. *Int Endod J* 1998; 31: 333-337.
- WU MK, FAN B, WESSELINK PR. Diminished leakage along root canals filled with gutta-percha without sealer over time: a laboratory study. *Int Endod J* 2000; 33: 121-125.
- WU MK, GEE AJ DE, WESSELINK PR, MOORER WR. Fluid transport and bacterial penetration along root canal fillings. *Int Endod J* 1993; 26: 203-208.
- WU MK, GEE AJ DE, WESSELINK PR. Fluid transport and dye penetration along root canal fillings. *Int Endod J* 1994; 27: 233-238.
- WU MK, WESSELINK PR. Endodontic leakage studies reconsidered. Part I. Methodology, application and relevance. *Int Endod J* 1993; 26: 37-43.

## Research methods in dentistry 4. Methods for testing the sealing ability of endodontic filling materials

In the past many *in vitro* studies were presented on the efficiency of the apical closure of the root canal. Such studies are relatively easy to perform in contrast to clinical studies. In order to determine which type of apical seal will give the best result, many techniques are evaluated. These results from *in vitro* studies are difficult to apply to the clinical situation. The results of clinical studies on root canal treatments are not always in accordance with the findings of *in vitro* studies. It remains a challenge to design a research protocol with an improved predictive value for the clinical situation.

### Summary

#### Key words:

- Endodontology
- Material science
- Root canal treatment