

Biodentine™

Dentine in een capsule of meer?



Josette Camilleri

B.Ch.D., M.Phil., Ph.D., FICD, FADM, FIMMM, FHEA (UK)
School of Dentistry,
Institute of Clinical Sciences
College of Medical and Dental Sciences
The University of Birmingham, Birmingham, U.K.



Inleiding

Tandweefsel gaat verloren door cariës, trauma of slijtage en wordt dikwijls vervangen door een inert dentaal vulmateriaal dat in bulk wordt aangebracht. Als de gezondheid van de pulpa in het gedrang komt moet men een aantal interventies overwegen. In eerste instantie moet men de vitaliteit van de pulpa trachten te bewaren. In een verder stadium is men verplicht om, na het verwijderen van de infectie, de ontstane pulpa ruimte op te vullen. Bij een pulpaire verwikkeling dient men een andere benadering te volgen en zijn materialen die een interactie aangaan met de pulpa of de dentine geïndiceerd. Interactieve dentale materialen bevatten verschillende vormen van calciumhydroxide en meer recentelijk, hydrofiële calciumsilicaatcementen.

De hydro calciumsilicaatcementen bieden als grote voordeel hun hydrofiële karakter, zodat men deze materialen kan gebruiken in een vochtige omgeving zonder gevaar voor desintegratie. Deze cementen zijn dus geschikt voor apicale vulling en het herstel

van perforaties. Een andere belangrijke eigenschap bestaat in het vrijgeven van calciumhydroxide als bijproduct van de hydratatie-reactie. Dit maakt hen uitermate geschikt voor pulpa-overkapping, apexificatie en apexogenese, en recentelijk ook voor regeneratieve endodontische toepassingen. Het calciumhydroxide creëert een omgeving waarin calcium ionen worden vrijgegeven en waar de antibacteriële activiteit hoog is.

Voor een succesvol klinisch resultaat is de materiaalkeuze uiterst belangrijk. Zoals aangetoond in *Tabel 1* zijn er een aantal hydro calciumsilicaatcementen voor verschillende toepassingen beschikbaar. Deze materialen variëren onderling in ruime mate, en de clinicus moet dus voor elke behandeling de juiste optie kiezen. In dit artikel brengen we de verschillende klinische toepassingen van Biodentine™ (Septodont, Saint-Maur-des-Fossés) onder de aandacht.

Materiaal	Cementtype	Radio-opaker	Additieven	Verpakking	Mengvorm
Biodentine	Tricalciumsilicaat	Zirkoniumoxide	Calciumcarbonaat, calciumchloride, polymeer	Poeder/vloeistof	Mechanisch
MTA Angelus	Portlandcement	Bismutoxide	Calciumoxide	Poeder/vloeistof	Manueel
Theracal	Portlandcement	Bismutoxide	Strontiumglas, kunstthars	Spuit	Voorgemengd
ProRoot MTA	Portlandcement	Bismutoxide	-	Poeder/vloeistof	Manueel

Tabel 1: De beschikbare hydro calciumsilicaatmaterialen.



Fig. 1: De poeder/vloeistof verpakking van Biodentine™

Eigenschappen van Biodentine™

Biodentine™ wordt aangeboden in een poeder/vloeistof verpakking. Het poeder bevindt zich in een capsule en de vloeistof in een flacon (Fig. 1). Het poeder bevat tricalciumsilicaat, zirkoniumoxide, calciumcarbonaat en een kleine concentratie ijzeroxide voor de radiopaciteit. De vloeistof is een waterige oplossing die calciumchloride en een wateroplosbaar polymeer bevat. Biodentine™ poeder en zijn gehydrateerde producten werden duidelijk gekarakteriseerd.

Het Biodentine™ ontwerp verzekert optimale eigenschappen en dus een uitstekende klinische prestatie. Het poeder is fijner dan elk ander cementtype in deze categorie (Tabel 2), met een hoger reactievermogen als gevolg. Het poeder bevat vooral tricalciumsilicaat (Tabel 3) in tegenstelling tot de andere watergebaseerde cementen die voornamelijk bestaan uit Portland cement, zoals blijkt uit Tabel 1. Het zuivere tricalciumsilicaat bevat geen aluminium^(1,2) en metaalsporen⁽³⁾ zoals die aanwezig zijn in de producten op basis van Portlandcement. In tegenstelling tot de materialen die bismutoxide als opaker gebruiken, geeft zirkoniumoxide een adequate en stabiele radio-opaciteit zonder risico op lekkage en verkleuring⁽⁴⁻⁶⁾. De RX-diffractie analyse laat duidelijk de voornaamste bestanddelen zien van het Biodentine™ poeder (Fig. 2).

Materiaal	BET surface area (m ² /g)
Tricalciumsilicaat	1.1187
Biodentine™	2.8116
MTA Angelus	1.0335

Tabel 2: Specifieke oppervlakte meting van Biodentine™ poeder toont de fijnere korrel t.o.v. andere cementen.

Met toestemming van Camilleri et al. 2013.

Geïdentificeerde fase	Materiaaltype in massa %		
	TCS	Biodentine™	MTA Angelus
Tricalciumsilicaat	100	80.1	66.1
Dicalciumsilicaat	-	-	8.4
Tricalciumaluminaat	-	-	2.0
Calciumcarbonaat	-	14.9	-
Calciumoxide	-	-	8.0
Bismutoxide	-	-	14.0
Zirkoniumoxide	-	5.0	-
Siliciumdioxide	-	-	0.5
Aluminiumoxide	-	-	1.0

Tabel 3: Poeder bestanddeel door Rietveld RX-diffractie analyse om de hoofdbestanddelen van Biodentine™ aan te tonen.

Met toestemming van Camilleri et al. 2013.

Ter verbetering van de eigenschappen bevat Biodentine™ additieven waaronder calciumcarbonaat in het poeder, calciumchloride en wateroplosbaar polymeer in de vloeistof. Het calciumcarbonaat zorgt, na het mengen van poeder en vloeistof tot een oplossing, voor een bron van vrije calciumionen. Deze zorgen voor een vroegtijdige warmte-

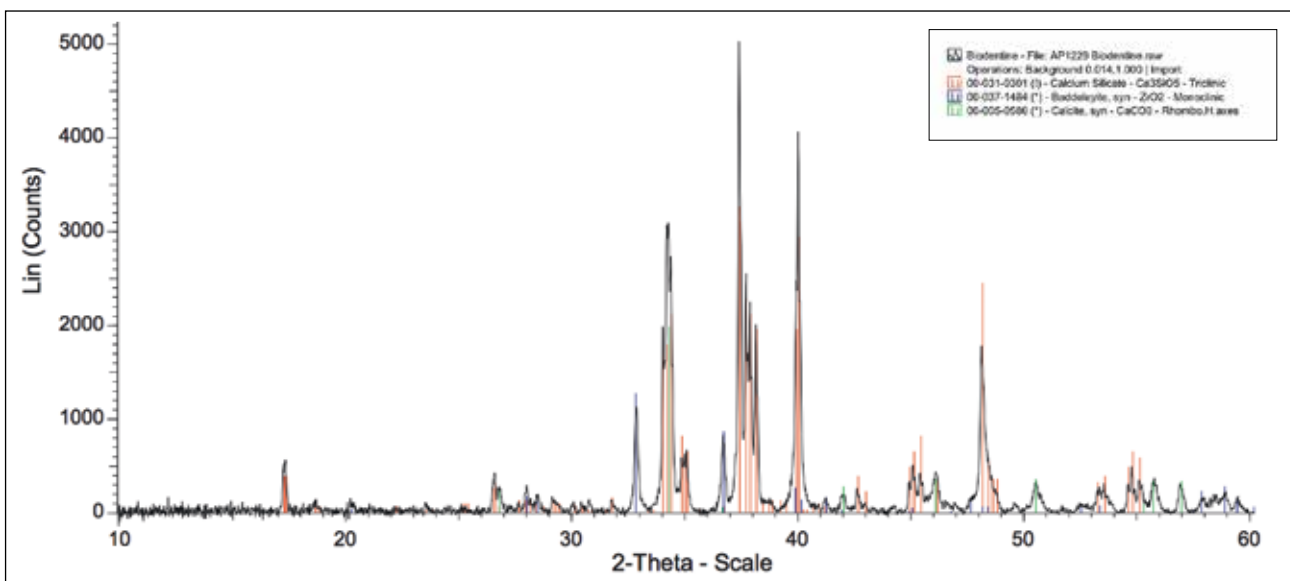


Fig. 2: RX-diffractie analyse van Biodentine™ poeder om de voornaamste bestanddelen aan te tonen, met name: tricalciumsilicaat, zirkoniumoxide en calciumcarbonaat.

Met toestemming van Camilleri et al. 2013.

ontwikkeling tijdens de reactie, waardoor deze intensiever gaat verlopen, zoals aangetoond in Fig. 3. Calciumchloride vermindert de uithardingstijd van Biodentine™ aanzienlijk in vergelijking met andere gelijkaardige materialen (7,8). Het wateroplosbaar polymeer vermindert het waterige aandeel in de cement wat de fysische eigenschappen van Biodentine™ ten goede komt. Inderdaad, de druksterkte en microhardheid van Biodentine™ zijn beduidend hoger dan deze in andere vergelijkbare cementen (7). De microstructuur van Biodentine™ (Fig. 4) toont hoe door de hydratatie het tricalciumsilicaat reageert en rond de calciumcarbonaat partikels neerslaat (9). Er wordt een grote hoeveelheid calciumhydroxide geproduceerd, zoals aangetoond op de RX-diffractie

scan van de gehydrateerde materialen (10). Men ziet een duidelijke piek bij 18 graden (Fig. 5). De specifieke chemische samenstelling, de kleine partikelgrootte, de lage waterconcentratie en de aanwezigheid van calciumcarbonaat dragen allemaal bij tot de optimale materiaaleigenschappen die nodig zijn voor een klinische performantie. Bovendien is het materiaal weinig poreus (Tabel 4) in vergelijking met de andere materialen (11), wat ook een klinisch voordeel oplevert. Vermits het een watergebaseerd materiaal is mag men het niet laten uitdrogen, wat zou leiden tot scheuren ter hoogte van de interface (Fig. 6) en in het materiaal zelf (11).

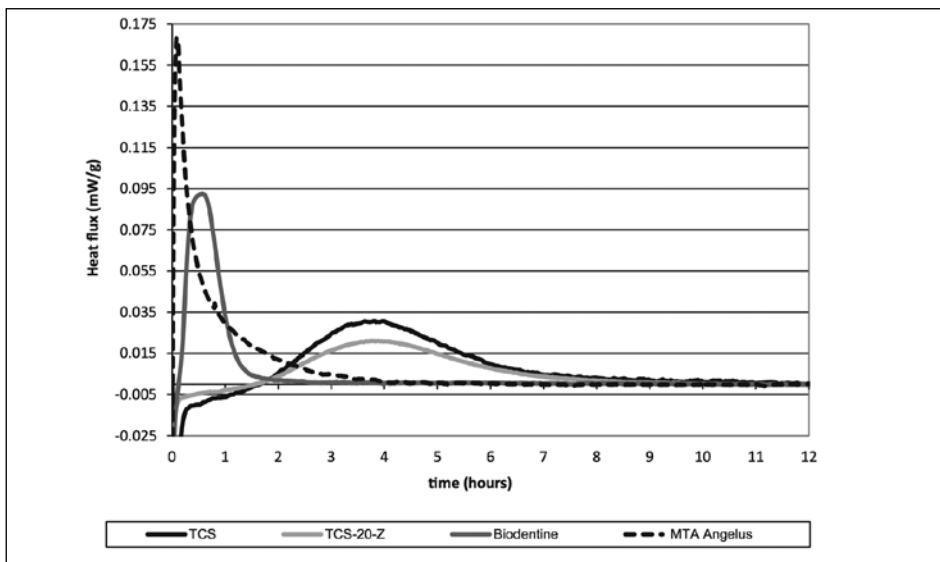


Fig. 3: Uitgesproken warmteontwikkeling in Biodentine™ vroeg in de hydratatie-reactie. (TCS: Tricalciumsilicaatcement; TCS-20-Z is een tricalciumsilicaatcement met 20% zirkoniumoxide). Met toestemming van Camilleri et al. 2013.

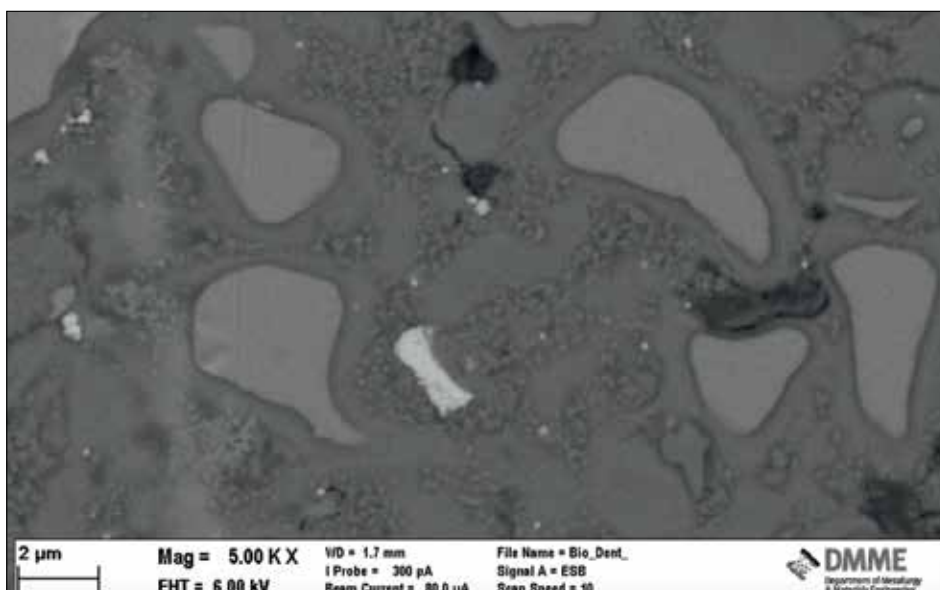


Fig. 4: Electromicrografische scan van de Biodentine™ reactie toont de microstructuur. Met toestemming van Camilleri et al. 2013.

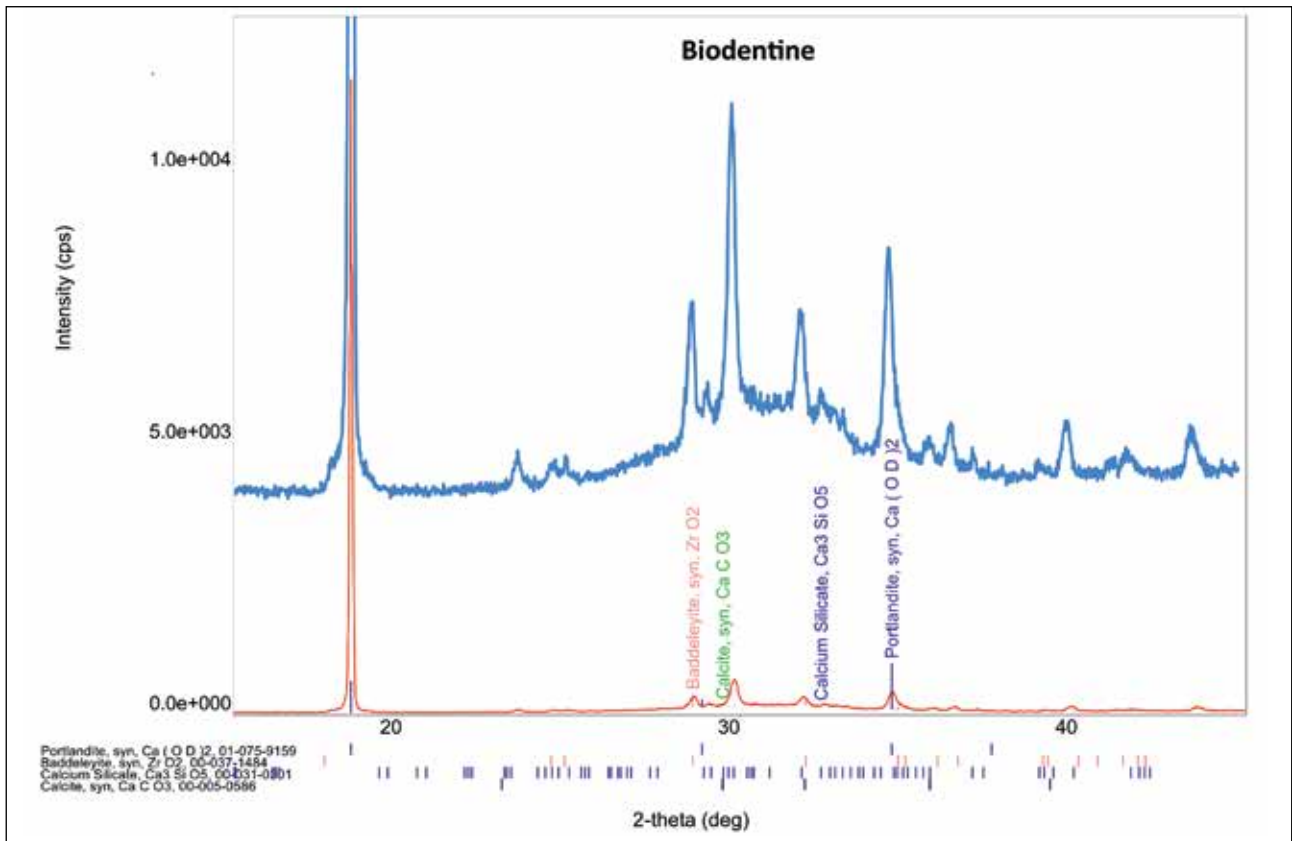


Fig. 5: RX-diffractie kaart van de Biodentine™ reactie toont de voornaamste fases na de reactievorming. Calciumhydroxide overheerst.

Met toestemming van Camilleri et al. 2014.

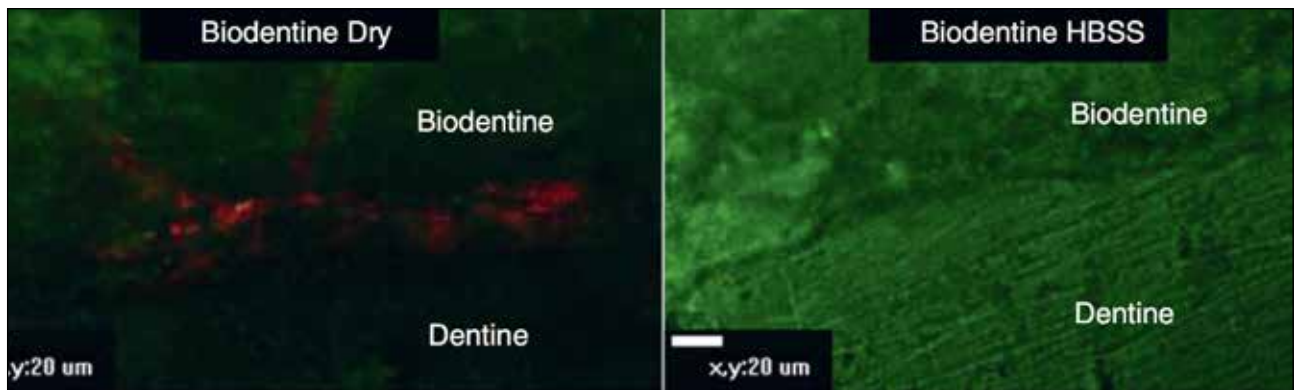


Fig. 6: De confocale laser microscopie van Biodentine™ in droge en natte HBSS (Hanks Balanced Salt Solution) omgeving bevestigt dat men het product altijd vochtig moet houden.

Met toestemming van Camilleri et al. 2014.

Gemeten parameter	Eenheid	Materiaal			
		TCS-20-Z	Bioaggregate	Biodentine™	IRM
Gemiddelde poriëndiameter	μm	0.0508	0.0337	0.0121	0.0205
Totale poriënoppervlakte	m ² /g	13.101	24.321	21.752	10.545
Bulk densiteit	g/ml	1.8637	1.8007	2.0444	2.3455
Porositeit	%	30.98	36.86	13.44	12.66

Tabel 4: Percentage porositeit in Biodentine™ vergeleken met gelijkaardige materialen.

Met toestemming van Camilleri et al. 2014.

Klinische toepassingen

Pulpakapping en dentine vervanging

Biodentine™ stelt calciumionen vrij^(10,12) in een hogere concentratie dan andere vergelijkbare materialen^(12,13), dus is het een ideaal overkappingsmateriaal. Het Biodentine™ oppervlak vertoont de dikste calciumlaag vergeleken met ProRoot MTA, Dycal en Theracal⁽¹⁴⁾. Bij een directe pulpakapping met Biodentine™ zien we klinisch een duidelijke dentinebrug^(15,16,17). Bij klinische gevallen waarbij een irreversibele pulpitis behandeld werd met Biodentine™ constateren we met een Cone Beam opname⁽¹⁸⁾ een reductie van de ontsteking ter hoogte van de apicale regio. De pulpaire reactie op Biodentine™ kan men vergelijken met andere gelijkaardige materialen zoals mineraal trioxide aggregaat⁽¹⁹⁾, met celproliferatie en alkalinefosfaat activiteit uitgaande van humane dentale pulpacellen⁽²⁰⁾. Men nam dezelfde reactie waar bij testen met Biodentine™ percolaat⁽¹³⁾. Het vrijstellen van calcium draagt ook bij tot de belangrijke antimicrobiële eigenschappen, omdat dentale cariës immers een bacterieel gebaseerde ziekte is. Biodentine™ bezit lagere antimicrobiële eigenschappen⁽¹³⁾ dan calciumhydroxide overkappingsmaterialen, maar deze materialen vertonen een hogere cytotoxiciteit⁽²¹⁾.

Door zijn fysische kwaliteit kan men dit materiaal bovendien in bulk gebruiken zonder te moeten layeren, waardoor het risico op randlekkage en

bijkomend falen van de restauratie vermindert. Biodentine™ toont inderdaad minder microlekkage dan kunsthars gebaseerde vulmaterialen⁽²²⁾. Het plaatsen van een definitieve restauratie over het watergebaseerde Biodentine™ betekent een uitdaging. Men stelt dit best minstens 2 weken uit, waarbij men zowel de total-etch als self-etch techniek kan gebruiken⁽²³⁾. De total-etch techniek kan tot microstructurele veranderingen⁽²⁴⁾ in het materiaal leiden, maar hoewel het verlies van alle in vitro geplaatste composiet restauraties te wijten was aan de thermocyclus, bleek total-etch toch efficiënter dan self-etch⁽²⁵⁾. Fig.7 toont de microstructuur en interface van Biodentine™ en composiet bij gebruik van total-etch en self-etch adhesieven. Men kan Biodentine™ tot 6 maanden als basis vulmateriaal gebruiken, waarna men het overkapt met een composiet en zo een doeltreffend dentine vervangend materiaal verkrijgt⁽²⁶⁾.

Andere tricalciumsilicaatmaterialen voor pulpakapping die kunsthars bevatten bieden het voordeel dat ze kunnen gelayerd worden met het composiet restauratiemateriaal, en zo een sterke binding tot stand brengen⁽²⁵⁾. Hun effect op de pulpa is echter minderwaardig⁽²⁷⁾. De vrijstelling van calciumionen door deze materialen is laag en er wordt geen kristallijne calciumhydroxidelaaag gevormd⁽¹⁰⁾. De penetratie en hydratatie van de actieve component tricalciumsilicaat in kunsthars gebaseerde

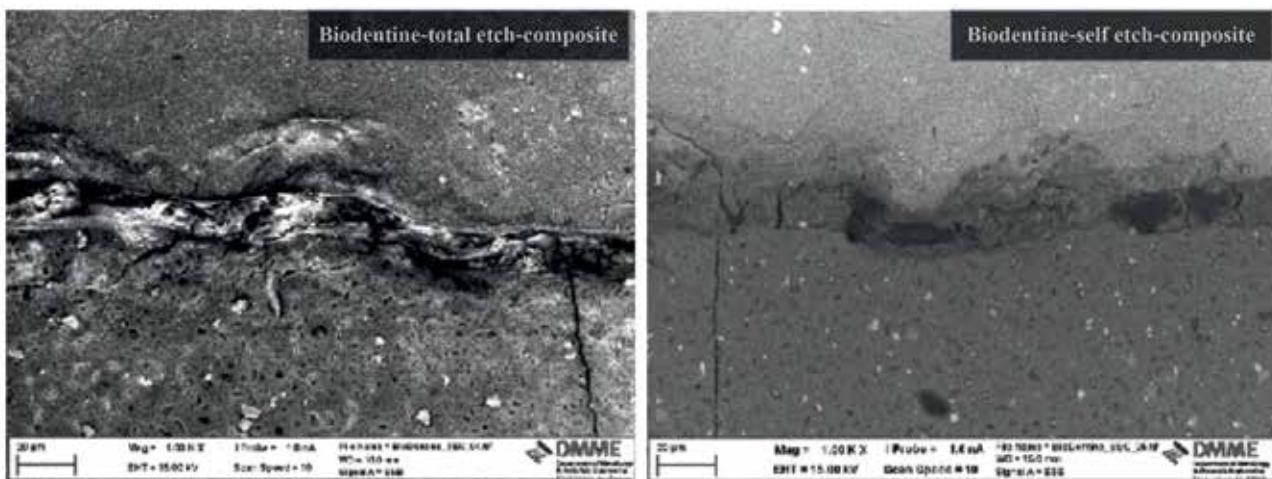


Fig. 7: Micro-structuur en interface van Biodentine™ en composiet bij gebruik van total-etch en self-etch adhesieven.

Met toestemming van Meraji en Camilleri et al. 2017.

overkappingsmaterialen zoals Theracal, hangt af van de omgevende vochtigheid. Deze vochtpermeabiliteit is onvoldoende zoals een model met geëxtraheerde tanden die 15 dagen in een medium werden bewaard, aantoonde⁽²⁸⁾. In overeenstemming met vroeger onderzoek bevestigen in-vitro⁽²⁹⁾ en in-vivo⁽³⁰⁾ studies dat Theracal-geconditioneerde media beduidend minder proliferatie van pulpa-fibroblasten vertoonden, en dat ze bij in cultuur gebrachte pulpa-fibroblasten en volledige tanden de vrijstelling van pro-inflammatoire interleukine 8 induceerden.

Het volledige tandcultuur model⁽³¹⁾ en een recente klinische studie⁽³⁰⁾ volgend, is het duidelijk dat Biodentine™ betere biologische en klinische eigenschappen bezit dan de kunsthar gebaseerde materialen. Biodentine™ blijkt in alle gevallen het meest geschikt om in te staan voor een volledige genezing van de pulpa⁽³⁰⁾.

Pulpotomieën

Vooraf bij melktanden zal een diepere beschadiging van de pulpa uitmonden in pulpotomie-procedures. In contact met stamcellen uit humane melktandfollikels toont Biodentine™ een hogere cyto-compatibiliteit en bio-activiteit dan MTA Angelus, Theracal en IRM⁽³²⁾. Op een dierlijk model waarbij men Biodentine™ als pulpotomie-agens gebruikte, zag men in vergelijking met MTA een dikkere gemeneraliseerde weefselbrug, die ook veel gemakkelijker op radiografie te detecteren viel⁽³³⁾.

Het klinische succes van Biodentine™ bij pulpotomie op melkmolaren ligt veel hoger dan de standaard procedures met formocresol^(34,35). Biodentine™ en calciumhydroxide tonen hetzelfde regeneratieve potentieel en activiteit, behalve de fysische en klinische beperkingen van dit laatste⁽³⁶⁾. Pulpotomieën die uitgevoerd werden met Biodentine™ vertoonden hetzelfde voorspelbaar klinische resultaat als die met MTA⁽³⁷⁻⁴¹⁾, en waarden hoger dan de minder courante behandelingen met laser⁽⁴¹⁾ en propolis⁽³⁹⁾. Biodentine™ geeft ook geen verkleuring van de behandelde gebitselementen⁽⁴²⁾.

Behandeling van de onvolgroeide apex

Het verlies van pulpaweefsel vergt een wortelkanaalvulling. Onvolgroeide tanden stellen hierbij een anatomisch probleem vanwege de korte en dunne wortels waardoor een breuk niet ondenkbaar is. Door de specifieke configuratie van het wortelkanaal is een kanaalvulling dan ook een uitdaging.

Een apexificatie behandeling bestaat in het afsluiten van de apex ten opzichte van de peri-apicale ruimte door het vormen van een gecalcificeerde barrière. Hiervoor creëert men een omgeving waarbij calciumionen uit de omgevende dentine worden vrijgesteld om een calciumbrug te vormen. Men doet dit met materialen die calciumhydroxide afgeven waarbij de veelgebruikte, oplosbare calciumhydroxide pasta's. Dit calciumhydroxide stelt de nodige calciumionen vrij om een ideale omgeving voor de brugvorming te creëren⁽⁴³⁾. Deze pasta's bieden het bijkomend voordeel dat ze een antibacteriële werking hebben, vermits het meestal gaat om genecroseerde elementen die ten prooi vielen aan bacteriële invasies⁽⁴⁴⁾. De behandeling met deze oplosbare pasta's moet in verschillende zittijden verspreid over een aantal maanden uitgevoerd worden, en de gevormde calciumbrug blijkt vrij poreus te zijn⁽⁴⁵⁾.

Het sluiten van de apex met een hydro calciumsilicaat plug kan in twee zittijden uitgevoerd worden. Dit was nodig omdat MTA een lange uithardings-tijd heeft en men pas dan de definitieve vulling kan plaatsen. Recentelijk toonde men echter aan dat dezelfde behandeling met Biodentine™ slechts één zittijd behoeft omdat vocht geen invloed heeft op de eigenschappen van dit materiaal⁽⁴⁶⁾.

Zo krijgt men een voorspelbaar resultaat en een alternatief voor het gebruik van calciumhydroxide⁽⁴⁷⁾. Door hun hydrofiële karakter en de vorming van calciumhydroxide zijn dit ideale materialen voor deze behandelingen. Biodentine™ stelt meer calciumionen vrij dan MTA⁽²⁾ en is uiterst succesvol als apicale plug bij apexificatie⁽⁴⁸⁻⁵³⁾. De toevoeging van calciumcarbonaat geeft de reactie in het beginstadium een boost, met een optimale hydratatie als resultaat. De toevoeging van calciumchloride

accelerator en het wateroplosbaar polymeer zorgt voor een lage water/poeder verhouding ⁽²⁾. Er worden geen pozzolanen of andere cementsubstanties aan toegevoegd, zoals blijkt uit *Tabel 1*. Men stelde vast dat deze materialen de calciumhydroxide vorming afremden ^(54,55). De breukweerstand van onvolgroeide tanden met een apicale Biodentine™ plug blijkt dezelfde als die van MTA, maar hoger dan de controlegroep ⁽⁵²⁾.

Biodentine™ werd ook succesvol gebruikt bij regeneratieve endodontie ⁽⁵⁶⁻⁵⁸⁾. Ook hier was de breukweerstand identiek aan die van MTA ⁽⁵⁹⁾, maar met de minste verkleuring ⁽⁶⁰⁾; dus het keuzemateriaal bij regeneratieve endo, vooral waar esthetiek belangrijk is.

Apicale vulling en herstelling van perforaties

Apicale vulcementen dienen aan specifieke eisen te voldoen omdat ze hun klinisch succes moeten bewijzen in zeer ongunstige omstandigheden. Het hydrofiele karakter van tricalciumsilicaat lijkt dus een belangrijk pluspunt. Men ontwikkelde deze materialen dan ook voor dit specifieke doel. Hydrofiele cementen hebben de eigenschap te reageren met de omgeving waarin ze geplaatst worden, en apicaalwaarts komen ze in contact met bloed. Maar ze staan eveneens in contact met de worteldentine, guttapercha-en sealer resten die gebruikt werden voor de kanaalvulling. Weefselvocht en bloed hebben geen effect op de fysische eigen-

schappen van Biodentine™ ⁽⁶¹⁾, en bovendien bindt het sterker dan MTA. Beide materialen kunnen nochtans door bloed gecontamineerd worden ⁽⁶²⁾. Men vond minder bacteriën in een apicale regio behandeld met Biodentine™ ten opzichte van MTA ⁽⁶³⁾, wat bewijst dat Biodentine™ een sterker antimicrobiële vermogen heeft. Ook de biocompatibiliteit van Biodentine™ ligt hoger dan die van MTA, met een betere celadhesie bij gebruik als apicaal vulmateriaal ⁽⁶⁴⁾. Ook voor het herstellen van perforaties lijkt Biodentine™ uitermate geschikt ⁽⁶⁵⁾, omdat het een positieve weefselreactie en een minerale afzetting uitlokt ter hoogte van de perforatiesite. Deze reactie is te wijten aan de vrijstelling van opgeloste calciumhydroxide ionen. Ook sluit Biodentine™ het defect hermetisch af, wat noodzakelijk is in een zone die toch altijd sterk geïnfecteerd is.

Materialen voor het herstellen van een perforatie kunnen ook loskomen tijdens de verdere restauratie van het element. Biodentine™ toont een sterke initiële binding tegen trekspanning die niet verloren gaat in contact met bloed ⁽⁶⁶⁾. Bovendien wordt het niet beïnvloed door irrigatiemiddelen ⁽⁶⁹⁾, wat duidt op stabiliteit.

I Besluit

Biodentine™ is een tweede generatie hydro calciumsilicaatmateriaal dat vooral samengesteld is uit tricalciumsilicaat, aangevuld met zirkoniumoxide als opaker en enkele andere additieven. Het werd wetenschappelijk ontworpen met als speci-

fieke doelstelling om gebruikt te worden als een dentine vervangmateriaal. Dit wordt bevestigd door de bestaande onderzoeken, maar ook andere klinische toepassingen bieden zich aan. Het is dus zeker meer dan dentine in een capsule.



Josette Camilleri

B.Ch.D., M.Phil., Ph.D., FICD, FADM, FIMMM, FHEA (UK)
 School of Dentistry,
 Institute of Clinical Sciences
 College of Medical and Dental Sciences
 The University of Birmingham
 Birmingham
 U.K.

Biography

Professor Josette Camilleri obtained her Bachelor of Dental Surgery and Master of Philosophy in Dental Surgery from the University of Malta. She completed her doctoral degree, supervised by the late Professor Tom Pitt Ford, at Guy's Hospital, King's College London.

She has worked at the Department of Civil and Structural Engineering, Faculty for the Built Environment, University of Malta and at the Department of Restorative Dentistry, Faculty of Dental Surgery, University of Malta. She is currently a senior academic at the School of Dentistry, University of Birmingham, U.K. Her research interests include endodontic materials such as root-end filling materials and root canal sealers, with particular interest in mineral trioxide aggregate, Portland cement hydration and other cementitious materials used as biomaterials and also in the construction industry.

Josette has published over 100 papers in peer-reviewed international journals and her work is cited over 4000 times. She is the Editor of "Mineral trioxide aggregate. From preparation to application" published by Springer in 2014. She is a contributing author to the 7th edition of "Harty's Endodontics in Clinical Practice" (Editor: BS Chong) and "Glass ionomer cements in Dentistry" (Editor: SK Sidhu). She is an international lecturer, a reviewer and a member of the scientific panel of a number of international journals including the Journal of Endodontics, Scientific Reports, Dental Materials, Clinical Oral Investigation, Journal of Dentistry, Acta Odontologica Scandinavica and Acta Biomaterialia.

Referenties

1. Camilleri J. Characterization and hydration kinetics of tricalcium silicate cement for use as a dental biomaterial. *Dent Mater.* 2011 Aug;27(8):836-44.
2. Camilleri J, Sorrentino F, Damidot D. Investigation of the hydration and bioactivity of radiopacified tricalcium silicate cement, Biodentine™ and MTA Angelus. *Dent Mater.* 2013 May;29(5):580-93.
3. Camilleri J, Kralj P, Veber M, Sinagra E. Characterization and analyses of acid- extractable and leached trace elements in dental cements. *Int Endod J.* 2012 Aug; 45(8):737-43.
4. Vallés M, Mercadé M, Duran-Sindreu F, Bourdelande JL, Roig M. Influence of light and oxygen on the color stability of five calcium silicate-based materials. *J Endod.* 2013 Apr;39(4):525-8.
5. Camilleri J. Color stability of white mineral trioxide aggregate in contact with hypochlorite solution. *J Endod.* 2014 Mar;40(3):436-40.
6. Marciano MA, Duarte MA, Camilleri J. Dental discoloration caused by bismuth oxide in MTA in the presence of sodium hypochlorite. *Clin Oral Investig.* 2015 Dec;19(9):2201-9.
7. Grech L, Mallia B, Camilleri J. Investigation of the physical properties of tricalcium silicate cement-based root-end filling materials. *Dent Mater.* 2013 Feb;29(2):e20-8.
8. Kaup M, Schäfer E, Dammaschke T. An in vitro study of different material properties of Biodentine™ compared to ProRoot MTA. *Head Face Med.* 2015 May 2;11:16.
9. Grech L, Mallia B, Camilleri J. Characterization of set Intermediate Restorative Material, Biodentine™, Bioaggregate and a prototype calcium silicate cement for use as root-end filling materials. *Int Endod J.* 2013 Jul;46(7):632-41.
10. Camilleri J. Hydration characteristics of Biodentine™ and Theracal used as pulp capping materials. *Dent Mater.* 2014 Jul;30(7):709-15.
11. Camilleri J, Grech L, Galea K, Keir D, Fenech M, Formosa L, Damidot D, Mallia B. Porosity and root dentine to material interface assessment of calcium silicate-based root-end filling materials. *Clin Oral Investig.* 2014;18(5):1437-46.
12. Kurun Aksoy M, Tulga Oz F, Orhan K. Evaluation of calcium (Ca²⁺) and hydroxide (OH⁻) ion diffusion rates of indirect pulp capping materials. *Int J Artif Organs.* 2017 Jul 8:0. doi: 10.5301/ijao.5000619. [Epub ahead of print]
13. Arias-Moliz MT, Farrugia C, Lung CYK, Wismayer PS, Camilleri J. Antimicrobial and biological activity of leachate from light curable pulp capping materials. *J Dent.* 2017 Jun 20. pii: S0300-5712(17)30151-3. doi: 10.1016/j.jdent.2017.06.006. [Epub ahead of print]

Referenties

14. Gong V, França R. Nanoscale chemical surface characterization of four different types of dental pulp-capping materials. *J Dent.* 2017 Mar;58:11-18.
15. Katge FA, Patil DP. Comparative Analysis of 2 Calcium Silicate-based Cements (Biodentine™ and Mineral Trioxide Aggregate) as Direct Pulp-capping Agent in Young Permanent Molars: A Split Mouth Study. *J Endod.* 2017 Apr;43(4):507-513.
16. Kim J, Song YS, Min KS, Kim SH, Koh JT, Lee BN, Chang HS, Hwang IN, Oh WM, Hwang YC. Evaluation of reparative dentin formation of ProRoot MTA, Biodentine™ and BioAggregate using micro-CT and immunohistochemistry. *Restor Dent Endod.* 2016 Feb;41(1):29-36.
17. Nowicka A, Wilk G, Lipski M, Kolečki J, Buczkowska-Radlińska J. Tomographic Evaluation of Reparative Dentin Formation after Direct Pulp Capping with Ca(OH)₂, MTA, Biodentine™, and Dentin Bonding System in Human Teeth. *J Endod.* 2015 Aug; 41(8):1234-40.
18. Hashem D, Mannocci F, Patel S, Manoharan A, Brown JE, Watson TF, Banerjee A. Clinical and radiographic assessment of the efficacy of calcium silicate indirect pulp capping: a randomized controlled clinical trial. *J Dent Res.* 2015 Apr;94(4):562-8.
19. Chang SW, Lee SY, Ann HJ, Kum KY, Kim EC. Effects of calcium silicate endodontic cements on biocompatibility and mineralization-inducing potentials in human dental pulp cells. *J Endod.* 2014 Aug;40(8):1194-200.
20. Luo Z, Kohli MR, Yu Q, Kim S, Qu T, He WX. Biodentine™ induces human dental pulp stem cell differentiation through mitogen-activated protein kinase and calcium-/ calmodulin-dependent protein kinase II pathways. *J Endod.* 2014 Jul;40(7):937-42.
21. Poggio C, Arciola CR, Beltrami R, Monaco A, Dagna A, Lombardini M, Visai L. Cytocompatibility and antibacterial properties of capping materials. *ScientificWorldJournal.* 2014;2014:181945.
22. Abdelmegid FY, Salama FS, Al-Mutairi WM, Al-Mutairi SK, Baghazal SO. Effect of different intermediary bases on micro-leakage of a restorative material in Class II box cavities of primary teeth. *Int J Artif Organs.* 2017 Mar 16;40(2):82-87.
23. Hashem DF, Foxton R, Manoharan A, Watson TF, Banerjee A. The physical characteristics of resin composite-calcium silicate interface as part of a layered/ laminate adhesive restoration. *Dent Mater.* 2014 Mar;30(3):343-9.
24. Camilleri J. Investigation of Biodentine™ as dentine replacement material. *J Dent.* 2013 Jul;41(7):600-10.
25. Meraji N, Camilleri J. Bonding over Dentin Replacement Materials. *J Endod.* 2017 Aug; 43(8):1343-1349.
26. Koubi G, Colon P, Franquin JC, Hartmann A, Richard G, Faure MO, Lambert G. Clinical evaluation of the performance and safety of a new dentine substitute, Biodentine™, in the restoration of posterior teeth - a prospective study. *Clin Oral Investig.* 2013 Jan;17(1): 243-9.
27. Hebling J, Lessa FC, Nogueira I, Carvalho RM, Costa CA. Cytotoxicity of resin-based light-cured liners. *Am J Dent.* 2009 Jun;22(3):137-42.
28. Camilleri J, Laurent P, About I. Hydration of Biodentine™, Theracal, and a prototype tricalcium silicate-based dentin replacement material after pulp capping in entire tooth cultures. *J Endod.* 2014 Nov;40(11):1846-54.
29. Jeanneau C, Laurent P, Rombouts C, Giraud T, About I. Light-cured Tricalcium Silicate Toxicity to the Dental Pulp. *J Endod.* 2017 Dec, volume 43, Issue 12.
30. Bakhtiar H, Nekoofar MH, Aminshakib P, Abedi F, Naghi Moosavi F, Esnaashari E, Azizi A, Esmailian S, Ellini MR, Mesgarzadeh V, Sezavar M, About I. Human Pulp Responses to Partial Pulpotomy-Treatment with Theracal as Compared with Biodentine and ProRoot MTA: A Clinical Trial. *J Endod.* 2017 Nov, Volume 43, Issue 11.
31. Laurent P, Camps J, About I. Biodentine™ induces TGF-β1 release from human pulp cells and early dental pulp mineralization. *Int Endod J.* 2012 May;45(5):439-48. doi: 10.1111/j.1365-2591.2011.01995.x. Epub 2011 Dec 22.
32. Collado-González M, García-Bernal D, Oñate-Sánchez RE, Ortolani-Seltenerich PS, Álvarez-Muro T, Lozano A, Forner L, Llana C, Moraleda JM, Rodríguez-Lozano FJ. Cytotoxicity and bioactivity of various pulpotomy materials on stem cells from human exfoliated primary teeth. *Int Endod J.* 2017 Feb 7. doi: 10.1111/iej.12751. [Epub ahead of print]
33. De Rossi A, Silva LA, Gatón-Hernández P, Sousa-Neto MD, Nelson-Filho P, Silva RA, de Queiroz AM. Comparison of pulpal responses to pulpotomy and pulp capping with Biodentine™ and mineral trioxide aggregate in dogs. *J Endod.* 2014 Sep;40(9):1362-9.
34. Juneja P, Kulkarni S. Clinical and radiographic comparison of Biodentine™, mineral trioxide aggregate and formocresol as pulpotomy agents in primary molars. *Eur Arch Paediatr Dent.* 2017 Aug 5. doi: 10.1007/s40368-017-0299-3. [Epub ahead of print]
35. El Meligy OA, Allazzam S, Alamoudi NM. Comparison between Biodentine™ and formocresol for pulpotomy of primary teeth: A randomized clinical trial. *Quintessence Int.* 2016;47(7):571-80.
36. Grewal N, Salhan R, Kaur N, Patel HB. Comparative evaluation of calcium silicate- based dentin substitute (Biodentine™) and calcium hydroxide (pulpdent) in the formation of reactive dentin bridge in regenerative pulpotomy of vital primary teeth: Triple blind, randomized clinical trial. *Contemp Clin Dent.* 2016 Oct-Dec;7(4):457-463.
37. Togaru H, Muppa R, Srinivas N, Naveen K, Reddy VK, Rebecca VC. Clinical and Radiographic Evaluation of Success of Two commercially Available Pulpotomy Agents in Primary Teeth: An in vivo Study. *J Contemp Dent Pract.* 2016 Jul 1;17(7):557-63.
38. Rajasekharan S, Martens LC, Vandenbulcke J, Jacquet W, Bottenberg P, Cauwels RG. Efficacy of three different pulpotomy agents in primary molars: a randomized control trial. *Int Endod J.* 2017 Mar;50(3):215-228.
39. Kusum B, Rakesh K, Richa K. Clinical and radiographical evaluation of mineral trioxide aggregate, Biodentine™ and propolis as pulpotomy medicaments in primary teeth. *Restor Dent Endod.* 2015 Nov;40(4):276-85.
40. Cuadros-Fernández C, Lorente Rodríguez AI, Sáez-Martínez S, García-Binimelis J, About I, Mercadé M. Short-term treatment outcome of pulpotomies in primary molars using mineral trioxide aggregate and Biodentine™: a randomized clinical trial. *Clin Oral Investig.* 2016 Sep;20(7):1639-45.
41. Niranjani K, Prasad MG, Vasa AA, Divya G, Thakur MS, Saujanya K. Clinical Evaluation of Success of Primary Teeth Pulpotomy Using Mineral Trioxide Aggregate®, Laser and Biodentine™- an In Vivo Study. *J Clin Diagn Res.* 2015 Apr;9(4):ZC35-7.

Referenties

42. Camilleri J. Staining Potential of Neo MTA Plus, MTA Plus, and Biodentine™ Used for Pulpotomy Procedures. *J Endod.* 2015 Jul;41(7):1139-45.
43. Rehman K, Saunders WP, Foye RH, Sharkey SW. Calcium ion diffusion from calcium hydroxide-containing materials in endodontically-treated teeth: an in vitro study. *Int Endod J.* 1996;29(4):271-9.
44. Chong BS, Pitt Ford TR. The role of intracanal medication in root canal treatment. *Int Endod J.* 1992;25(2):97-106.
45. Walia T, Chawla HS, Gauba K. Management of wide open apices in non-vital permanent teeth with Ca(OH)₂ paste. *J Clin Pediatr Dent.* 2000;25(1):51-6.
46. Caronna V, Himel V, Yu Q, Zhang JF, Sabey K. Comparison of the surface hardness among 3 materials used in an experimental apexification model under moist and dry environments. *J Endod.* 2014 Jul;40(7):986-9. doi: 10.1016/j.joen.2013.12.005. Epub 2014 Jan 17.
47. Simon S, Rilliard F, Berdal A, Machtou P. The use of mineral trioxide aggregate in one-visit apexification treatment: a prospective study. *Int Endod J.* 2007;40(3):186-97.
48. Khetarpal A, Chaudhary S, Talwar S, Verma M. Endodontic management of open apex using Biodentine™ as a novel apical matrix. *Indian J Dent Res.* 2014;25(4):513-6.
49. Bajwa NK, Jingarwar MM, Pathak A. Single Visit Apexification Procedure of a Traumatically Injured Tooth with a Novel Bioinductive Material (Biodentine™). *Int J Clin Pediatr Dent.* 2015;8(1):58-61.
50. Martens L, Rajasekharan S, Cauwels R. Endodontic treatment of trauma-induced necrotic immature teeth using a tricalcium silicate-based bioactive cement. A report of 3 cases with 24-month follow-up. *Eur J Paediatr Dent.* 2016;17(1):24-8.
51. Vidal K, Martin G, Lozano O, Salas M, Trigueros J, Aguilar G. Apical Closure in Apexification: A Review and Case Report of Apexification Treatment of an Immature Permanent Tooth with Biodentine™. *J Endod.* 2016;42(5):730-4.
52. Evren OK, Altunsoy M, Tanriver M, Capar ID, Kalkan A, Gok T. Fracture resistance of simulated immature teeth after apexification with calcium silicate-based materials. *Eur J Dent.* 2016;10(2):188-92.
53. Niranjana B, Shashikiran ND, Dubey A, Singla S, Gupta N. Biodentine™ - A New Novel Bio-Inductive Material For Treatment of Traumatically Injured Tooth (Single Visit Apexification). *J Clin Diagn Res.* 2016;10(9):ZJ03-ZJ04.
54. Schembri Wismayer P, Camilleri J. Why biphasic? Assessment of the effect on cell proliferation and expression. *J. Endod.* 2017 43(5):751-759.
55. Camilleri J, Sorrentino F, Damidot D. Characterization of un-hydrated and hydrated BioAggregate™ and MTA Angelus™. *Clin Oral Investig.* 2015 Apr;19(3):689-98.
56. Bakhtiar H, Esmaili S, Fakhr Tabatabayi S, Ellini MR, Nekoofar MH, Dummer PM. Second-generation Platelet Concentrate (Platelet-rich Fibrin) as a Scaffold in Regenerative Endodontics: A Case Series. *J Endod.* 2017 Mar;43(3):401-408.
57. Topçuoğlu G, Topçuoğlu HS. Regenerative Endodontic Therapy in a Single Visit Using Platelet-rich Plasma and Biodentine™ in Necrotic and Asymptomatic Immature Molar Teeth: A Report of 3 Cases. *J Endod.* 2016 Sep;42(9):1344-6.
58. Khoshkhounejad M, Shokouhinejad N, Pirmoazen S. Regenerative Endodontic Treatment: Report of Two Cases with Different Clinical Management and Outcomes. *J Dent (Tehran).* 2015 Jun;12(6):460-8.
59. Elnaghy AM, Elsaka SE. Fracture resistance of simulated immature teeth filled with Biodentine™ and white mineral trioxide aggregate - an in vitro study. *Dent Traumatol.* 2016 Apr;32(2):116-20.
60. Yoldaş SE, Bani M, Atabek D, Bodur H. Comparison of the Potential Discoloration Effect of Bioaggregate, Biodentine™, and White Mineral Trioxide Aggregate on Bovine Teeth: In Vitro Research. *J Endod.* 2016 Dec;42(12):1815-1818. doi: 10.1016/j.joen.2016.08.020. Epub 2016 Oct 21.
61. Subramanyam D, Vasantharajan M. Effect of Oral Tissue Fluids on Compressive Strength of MTA and Biodentine™: An In vitro Study. *J Clin Diagn Res.* 2017 Apr; 11(4):ZC94-ZC96.
62. Akcay H, Arslan H, Akcay M, Mese M, Sahin NN. Evaluation of the bond strength of root-end placed mineral trioxide aggregate and Biodentine™ in the absence/presence of blood contamination. *Eur J Dent.* 2016 Jul-Sep;10(3):370-5.
63. Tsesis I, Elbahary S, Venezia NB, Rosen E. Bacterial colonization in the apical part of extracted human teeth following root-end resection and filling: a confocal laser scanning microscopy study. *Clin Oral Investig.* 2017 Mar 28. doi: 10.1007/s00784-017-2107-1. [Epub ahead of print]
64. Escobar-García DM, Aguirre-López E, Méndez-González V, Pozos-Guillén A. Cytotoxicity and Initial Biocompatibility of Endodontic Biomaterials (MTA and Biodentine™) Used as Root-End Filling Materials. *Biomed Res Int.* 2016;2016:7926961.
65. Silva LAB, Pieroni KAMG, Nelson-Filho P, Silva RAB, Hernández-Gatón P, Lucisano MP, Paula-Silva FWG, de Queiroz AM. Furcation Perforation: Periradicular Tissue Response to Biodentine™ as a Repair Material by Histopathologic and Indirect Immunofluorescence Analyses. *J Endod.* 2017 Jul;43(7):1137-1142.
66. Katge FA, Shivasharan PR, Patil D. Sealing ability of mineral trioxide aggregate Plus™ and Biodentine™ for repair of furcal perforation in primary molars: An in vitro study. *Contemp Clin Dent.* 2016 Oct-Dec;7(4):487-492.
67. Sinkar RC, Patil SS, Jogad NP, Gade VJ. Comparison of sealing ability of ProRoot MTA, RetroMTA, and Biodentine™ as furcation repair materials: An ultraviolet spectrophotometric analysis. *J Conserv Dent.* 2015 Nov-Dec;18(6):445-8.
68. Aggarwal V, Singla M, Miglani S, Kohli S. Comparative evaluation of push-out bond strength of ProRoot MTA, Biodentine™, and MTA Plus in furcation perforation repair. *J Conserv Dent.* 2013 Sep;16(5):462-5.
69. Guner MB, Akbulut MB, Eldeniz AU. Effect of various endodontic irrigants on the push-out bond strength of Biodentine™ and conventional root perforation repair materials. *J Endod.* 2013 Mar;39(3):380-4.

Septodont - Grondwetlaan 87 - 1083 Brussel

Bezoek onze website voor meer informatie:
www.septodont.be – www.septodont.nl

