

Biodentine™

Bien plus que de la dentine en 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.



I Introduction

Les caries, un traumatisme ou l'usure provoquent la perte du tissu dentaire qui est souvent remplacé par un matériau d'obturation dentaire inerte qui est appliqué en vrac. Lorsque la santé de la pulpe est mise en péril, il convient d'envisager une série d'interventions. Il faut, tout d'abord, tenter de conserver la vitalité de la pulpe. Ensuite, il s'avère nécessaire de combler l'espace pulpaire généré après élimination de l'infection. Dans le cas d'une implication pulpaire, il convient de suivre une autre approche et d'opter pour des matériaux qui interagissent avec la pulpe et la dentine. Parmi les matériaux dentaires interactifs utilisés, on retrouve l'hydroxyde de calcium sous différentes formes et plus récemment, des ciments à base de silicate de calcium hydraté.

Le gros avantage des ciments à base de silicate de calcium hydraté réside dans leur caractère hydrophile qui permet de les utiliser dans un environnement humide sans risque de désintégration. Ces ciments sont donc parfaitement indiqués pour une obturation

apicale et la réparation de perforations. Une autre propriété importante de ces matériaux est la libération d'hydroxyde de calcium comme sous-produit de la réaction d'hydratation, ce qui les rend particulièrement adaptés pour un coiffage pulpaire, une apexification et une apexogénèse et, récemment aussi, pour des applications endodontiques régénératives. L'hydroxyde de calcium crée un environnement dans lequel des ions de calcium sont libérés et où l'activité antibactérienne est élevée. Le choix du matériau est extrêmement important pour un résultat clinique réussi. Comme le montre le *tableau 1*, il existe toute une série de ciments à base de silicate de calcium hydraté destinés à différentes applications. Ces matériaux varient énormément entre eux et le clinicien doit donc choisir celui qui convient le mieux à chaque traitement. Dans cet article, nous allons nous concentrer sur les différentes applications cliniques de Biodentine™ (Septodont, Saint-Maur-des-Fossés).

Matériau	Type de ciment	Radio-opacifiant	Additifs	Conditionnement	Forme de mélange
Biodentine™	Silicate tricalcique	Oxyde de zirconium	Carbonate de calcium, chlorure de calcium, polymère	Poudre/liquide	Mécanique
MTA Angelus	Ciment Portland	Oxyde de bismuth	Oxyde de calcium	Poudre/liquide	Manuel
Theracal	Ciment Portland	Oxyde de bismuth	Verre de strontium, résine	Seringue	Prémélangé
ProRoot MTA	Ciment Portland	Oxyde de bismuth	-	Poudre/liquide	Manuel

Tableau 1 : Les matériaux à base de silicate de calcium hydraté disponibles.



Fig. 1 : Conditionnement de Biodentine™ sous forme de poudre/liquide

Propriétés de Biodentine™

Biodentine™ est proposé dans un conditionnement poudre/liquide. La poudre se trouve dans une capsule et le liquide dans un flacon (*Figure 1*). La poudre contient du silicate tricalcique, de l'oxyde de zirconium, du carbonate de calcium et une petite concentration d'oxyde de fer pour donner de la couleur. Le liquide est une solution aqueuse qui contient du chlorure de calcium et un polymère soluble dans l'eau. La poudre Biodentine™ et ses produits hydratés ont été clairement caractérisés. La conception de Biodentine™ garantit des propriétés optimales et ainsi, une excellente performance clinique.

La poudre est plus fine que les autres types de ciment dans cette catégorie (*tableau 2*), ce qui se traduit par un pouvoir de réaction plus élevé. La poudre est essentiellement composée de silicate tricalcique (*tableau 3*) contrairement aux autres ciments à base d'eau qui contiennent surtout du ciment Portland, comme le montre le *tableau 1*. Le silicate tricalcique pur ne contient pas d'aluminium^(1,2) ni de métaux-traces⁽³⁾, comme c'est le cas dans les produits à base de ciment Portland. Contrairement aux matériaux qui utilisent de l'oxyde de bismuth comme opacifiant, l'oxyde de zirconium apporte une radio-opacité adéquate et stable, sans risque de lixiviation ou de décoloration⁽⁴⁻⁶⁾. L'analyse par diffraction des rayons X révèle clairement les principaux composants de la poudre Biodentine™ (*Figure 2*).

Matériau	Surface BET (m ² /g)
Silicate tricalcique	1.1187
Biodentine™	2.8116
MTA Angelus	1.0335

Tableau 2 : La mesure de surface spécifique de la poudre Biodentine™ montre la granularité plus fine par rapport aux autres ciments.

Avec l'autorisation de Camilleri et al. 2013

Phase identifiée	Type de matériau en % masse		
	TCS	Biodentine™	MTA Angelus
Silicate tricalcique	100	80.1	66.1
Silicate dicalcique	-	-	8.4
Aluminate tricalcique	-	-	2.0
Carbonate de calcium	-	14.9	-
Oxyde de calcium	-	-	8.0
Oxyde de bismuth	-	-	14.0
Oxyde de zirconium	-	5.0	-
Dioxyde de silicium	-	-	0.5
Oxyde d'aluminium	-	-	1.0

Tableau 3 : Analyse par diffraction des rayons X selon la méthode Rietveld de la poudre pour montrer les principaux composants de Biodentine™. Avec l'autorisation de Camilleri et al. 2013

Pour améliorer les propriétés du matériau, Biodentine™ contient des additifs, dont du carbonate de calcium dans la poudre, du chlorure de calcium et un polymère soluble dans l'eau dans le liquide. Le carbonate de calcium est une source d'ions de calcium libres après avoir mélangé la poudre et le liquide pour obtenir une solution. Leur présence provoque un dé-

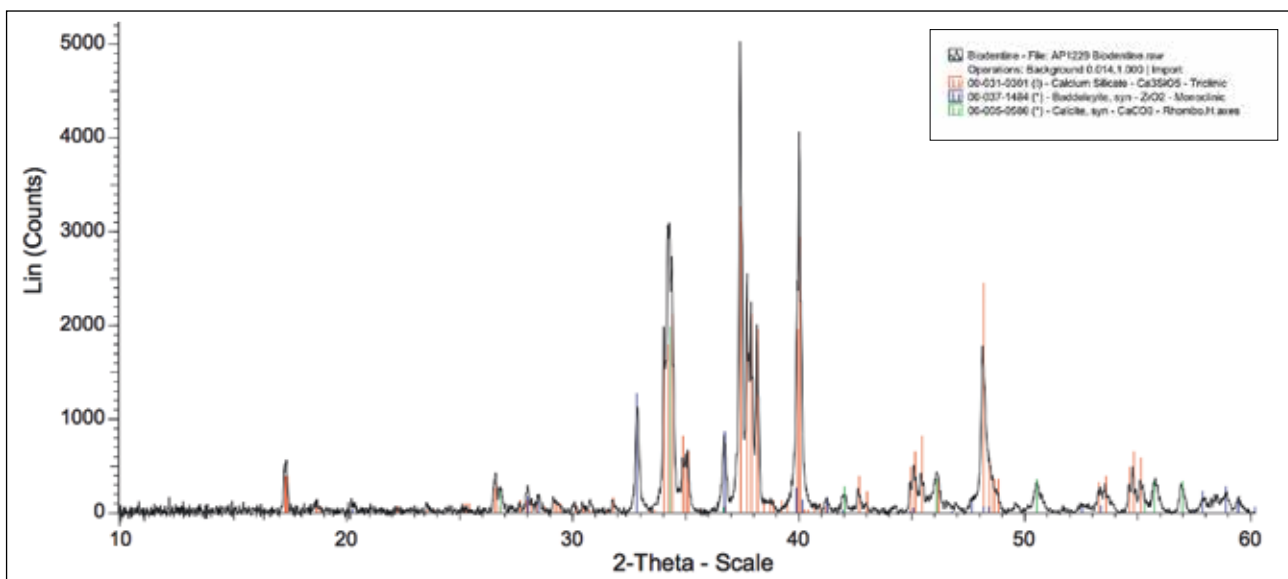


Fig. 2 : Analyse par diffraction des rayons X de la poudre Biodentine™ pour montrer les principaux composants.

Avec l'autorisation de Camilleri et al. 2013

gagement de chaleur prématuré pendant la réaction, ce qui va l'intensifier, comme le montre la *figure 3*. Le chlorure de calcium réduit considérablement le temps de durcissement de Biodentine™ par rapport à d'autres matériaux similaires (7,8). Le polymère soluble dans l'eau réduit la teneur aqueuse dans le ciment, ce qui améliore les propriétés physiques de Biodentine™. La résistance à la compression et la microdureté de Biodentine™ sont en effet nettement supérieures à celles d'autres ciments comparables (7). La microstructure de Biodentine™ (*Figure 4*) montre comment le silicate tricalcique réagit à la suite du processus d'hydratation et se précipite autour des particules de carbonate de calcium (9). De l'hydroxyde de calcium est produit en grande quantité, comme le

montre le scan de diffraction des rayons X des matériaux hydratés (10). On observe un pic bien marqué à 18 degrés (*Figure 5*). La composition chimique spécifique, la petite taille des particules, la faible concentration en eau et la présence de carbonate de calcium contribuent ensemble aux propriétés optimales du matériau qui sont nécessaires pour garantir une performance clinique. De plus, le matériau est peu poreux (*tableau 4*) comparé aux autres matériaux (11), ce qui offre aussi un avantage clinique. Vu qu'il s'agit d'un matériau à base d'eau, on ne peut pas le laisser sécher, car cela provoquerait des fissures au niveau de l'interface (*Figure 6*) et dans le matériau proprement dit (11).

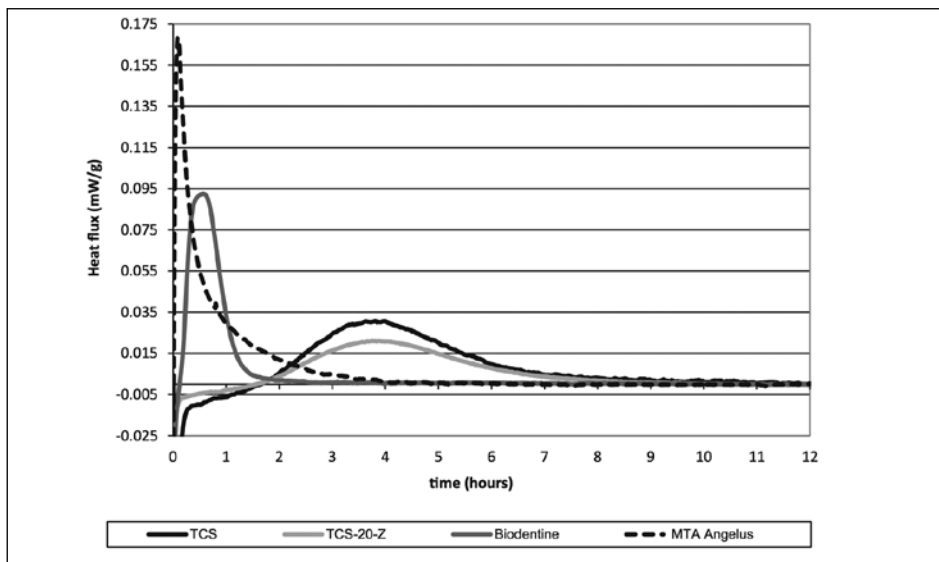


Fig. 3 : Dégagement de chaleur précoce marqué dans Biodentine™ pendant la réaction d'hydratation. (TCS : Ciment à base de silicate tricalcique; TCS-20-Z est un silicate tricalcique avec 20 % d'oxyde de zirconium).

Avec l'autorisation de Camilleri et al. 2013

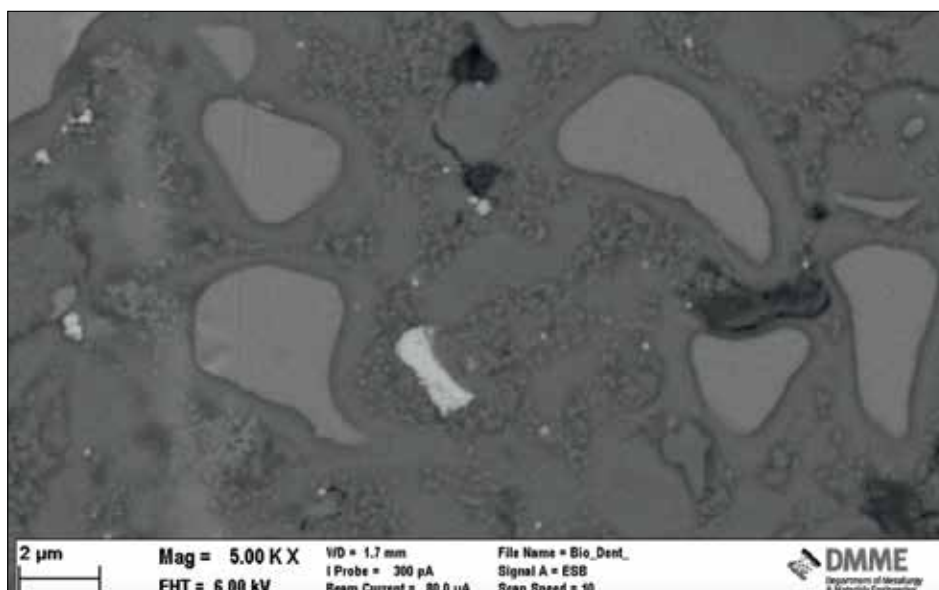


Fig. 4 : La micrographie par balayage électronique de la réaction Biodentine™ montre la microstructure.

Avec l'autorisation de Camilleri et al. 2013.

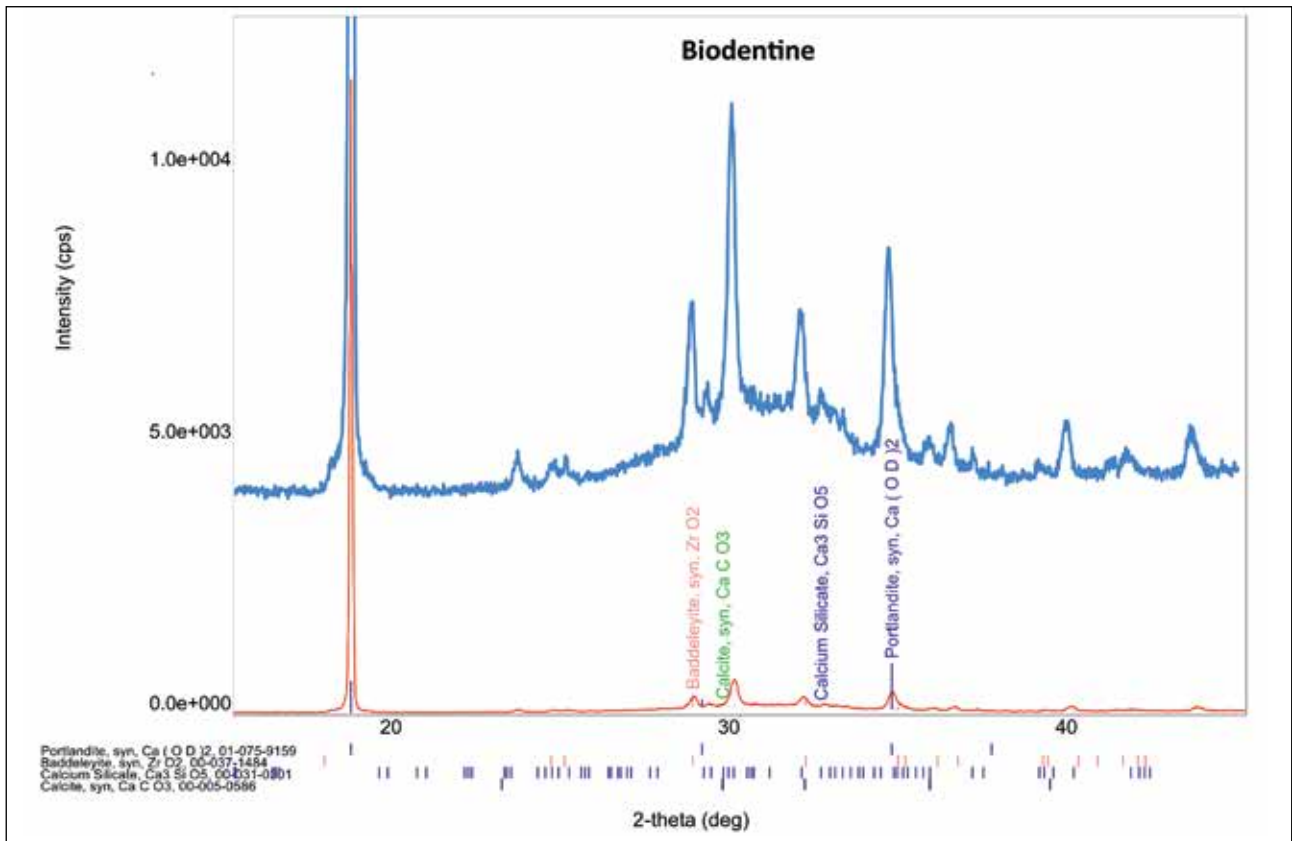


Fig. 5 : Le graphique de diffraction des rayons X de la réaction Biodentine™ montre les phases principales après la formation de la réaction. L'hydroxyde de calcium prédomine sur le graphique.

Avec l'autorisation de Camilleri et al. 2014.

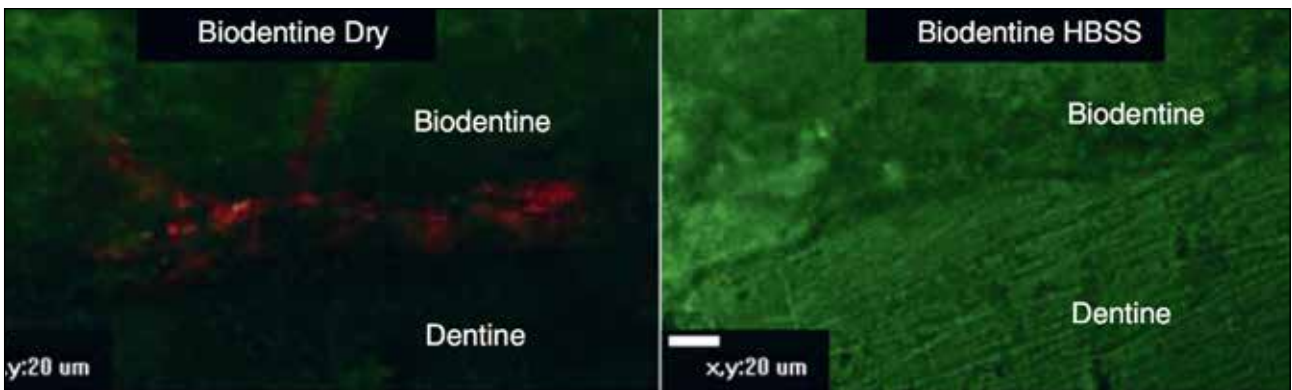


Fig. 6 : La microscopie laser confocale de Biodentine™ dans un environnement HBSS (Hanks Balanced Salt Solution) sec et mouillé confirme qu'il faut toujours garder le produit humide.

Avec l'autorisation de Camilleri et al. 2014.

Paramètre mesuré	Unité	Matériau			
		TCS-20-Z	Bioagrégat	Biodentine™	IRM
Diamètre moyen des pores	µm	0.0508	0.0337	0.0121	0.0205
Superficie totale des pores	m ² /g	13.101	24.321	21.752	10.545
Masse volumique	g/ml	1.8637	1.8007	2.0444	2.3455
Porosité	%	30.98	36.86	13.44	12.66

Tableau 4 : Pourcentage de porosité de Biodentine™ comparé à des matériaux similaires.

Avec l'autorisation de Camilleri et al. 2014.

Applications cliniques

Coiffage pulpaire et remplacement de la dentine

Biodentine™ libère des ions de calcium^(10,12) dans une concentration plus élevée que d'autres matériaux comparables^(12,13), ce qui en fait un matériau idéal pour les coiffages pulpaires. La surface de Biodentine™ présente la couche de calcium la plus épaisse quand on la compare à celle de ProRoot MTA, Dycal et Theracal⁽¹⁴⁾. Lorsque Biodentine™ est utilisé pour un coiffage pulpaire direct, la formation d'un pont dentinaire^(15,16,17) est évidente sur le plan clinique. Dans les cas cliniques où une pulpite irréversible a été traitée avec Biodentine™, nous constatons, au moyen d'une radio Cone Beam⁽¹⁸⁾, une réduction de l'inflammation au niveau de la région apicale. La réaction pulpaire à Biodentine™ peut être comparée à celle d'autres matériaux similaires, comme l'agrégat de trioxyde minéral⁽¹⁹⁾, avec une activité de prolifération cellulaire et de phosphatase alcaline des cellules pulpaires dentaires humaines⁽²⁰⁾. La même réaction est observée lors de tests réalisés avec des lixiviats de Biodentine™⁽¹³⁾. La libération du calcium contribue aussi aux propriétés antimicrobiennes qui sont importantes étant donné que les caries dentaires sont une maladie d'origine bactérienne. Les propriétés antimicrobiennes de Biodentine™ sont moins grandes⁽¹³⁾ que celles des matériaux de coiffage pulpaire à base d'hydroxyde de calcium, mais ces matériaux présentent une cytotoxicité plus élevée⁽²¹⁾.

Ses propriétés physiques permettent en outre à ce matériau d'être utilisé en vrac sans devoir recourir à la stratification, ce qui réduit le risque de micro-infiltrations et d'échec de la restauration. Biodentine™ présente en effet moins de micro-infiltrations que les matériaux d'obturation à base de résine⁽²²⁾. La pose d'une restauration définitive sur Biodentine™ peut être difficile vu qu'il s'agit d'un matériau à base d'eau. La restauration définitive devrait de préférence être réalisée au moins 2 semaines plus tard de manière à pouvoir utiliser aussi bien la technique « total-etch » que « self-etch »⁽²³⁾. La technique « total-etch » peut conduire à des changements microstructuraux⁽²⁴⁾ dans le matériau, mais bien que la perte de toutes les restaurations composites posées in vitro soit imputable au cyclage thermique, la technique « total-etch » s'est avérée être plus efficace que la technique « self-etch »⁽²⁵⁾. La *figure 7* montre la microstructure au niveau de l'interface de Biodentine™ et du composite lors de l'utilisation d'adhésifs « total-etch » et « self-etch ». Biodentine™ peut être utilisé comme matériau d'obturation de base pendant une durée de 6 mois, pour être ensuite recouvert d'un composite et devenir ainsi un matériau de remplacement dentinaire efficace⁽²⁶⁾.

D'autres matériaux à base de silicate tricalcique pour le coiffage pulpaire qui contiennent de la résine offrent

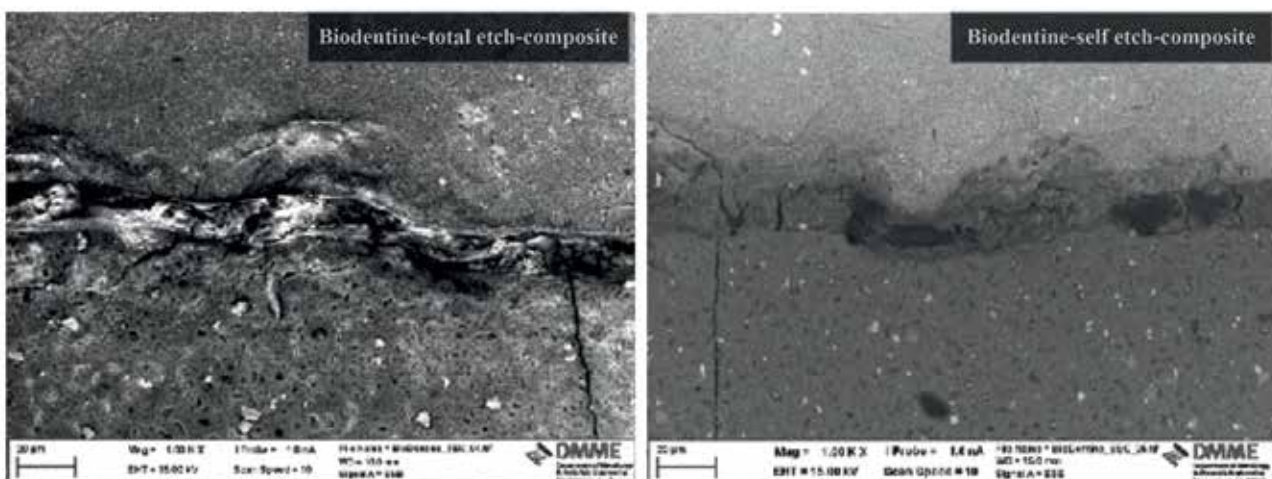


Fig. 7 : La microstructure au niveau de l'interface de Biodentine™ et du composite lors de l'utilisation d'adhésifs « total-etch » et « self-etch »
Avec l'autorisation de Meraji et Camilleri et al. 2017.

l'avantage de pouvoir être appliqués par couches avec le matériau de restauration composite, formant ainsi une liaison solide⁽²⁵⁾. Leur effet sur la pulpe est toutefois moins bon⁽²⁷⁾. La libération des ions de calcium par ces matériaux est faible et aucune couche d'hydroxyde de calcium cristalline ne se forme⁽¹⁰⁾. La pénétration et l'hydratation du composant actif, le silicate tricalcique, dans des matériaux de coiffage à base de résine, comme Theracal, dépendent de l'humidité ambiante. Cette pénétration d'humidité n'est pas suffisante, comme le montre un modèle utilisant des dents extraites qui ont été conservées pendant 15 jours dans un milieu⁽²⁸⁾. Conformément aux études antérieures, des études *in vitro*⁽²⁹⁾ et *in vivo*⁽³⁰⁾ confirment que les milieux conditionnés avec Theracal présentent une prolifération nettement moins grande de fibroblastes pulpaire et qu'ils induisent la libération d'interleukine-8 pro-inflammatoire dans des fibroblastes pulpaire mis en culture et des cultures de dents complètes.

Le modèle de culture de dent complète⁽³¹⁾ et une récente étude clinique⁽³⁰⁾ démontrent que Biodentine™ possède de meilleures propriétés biologiques et cliniques que les matériaux à base de résine. Biodentine™ s'avère être dans tous les cas le matériau le mieux adapté pour obtenir une guérison complète de la pulpe⁽³⁰⁾.

Pulpotomies

Un endommagement plus profond de la pulpe, surtout dans les dents de lait, va nécessiter des procédures de pulpotomie. En contact avec des cellules souches isolées à partir de follicules de dents de lait humaines, Biodentine™ présente une cytocompatibilité et une bioactivité plus élevées que MTA Angelus, Theracal et IRM⁽³²⁾. Sur un modèle animal, où Biodentine™ a été utilisé comme agent de pulpotomie, on a observé, en comparaison avec MTA, un pont tissulaire minéralisé plus épais qui est aussi beaucoup plus facilement détecté sur des radiographies⁽³³⁾.

Le succès clinique de Biodentine™ dans le cas d'une pulpotomie sur des molaires de lait est beaucoup plus grand que les procédures standard avec du formocrésol^(34,35). Biodentine™ et l'hydroxyde de calcium présentent le même mode d'action et le

même potentiel régénératif, sans les limitations physiques et cliniques de ce dernier⁽³⁶⁾. Les pulpotomies qui ont été réalisées avec Biodentine™ ont donné le même résultat clinique prévisible que celles pratiquées avec MTA⁽³⁷⁻⁴¹⁾ et ont obtenu un meilleur résultat que les traitements moins courants par laser⁽⁴¹⁾ et propolis⁽³⁹⁾. Biodentine™ ne provoque pas non plus de décoloration des dents traitées⁽⁴²⁾.

Traitement de l'apex immature

La perte de tissu pulpaire requiert un comblement du canal radiculaire. Les dents immatures posent problème à cause de leur anatomie vu que les racines sont courtes et fines, ce qui entraîne un risque de fracture. Vu la configuration spécifique du canal radiculaire, une obturation canalaire est donc aussi difficile à réaliser.

Un traitement par apexification consiste à fermer l'apex de l'espace périapical par la formation d'une barrière calcifiée. On crée pour cela un environnement dans lequel les ions de calcium provenant de la dentine environnante sont libérés pour former un pont calcique. Ces conditions sont créées par des matériaux qui libèrent de l'hydroxyde de calcium. Il s'agit le plus souvent de pâtes d'hydroxyde de calcium solubles. Cet hydroxyde de calcium libère les ions de calcium nécessaires pour créer un environnement idéal pour la formation du pont⁽⁴³⁾. Un autre avantage de ces pâtes est leur action antibactérienne, vu qu'il s'agit généralement de dents nécrosées qui sont propices aux invasions bactériennes⁽⁴⁴⁾. Le traitement avec ces pâtes solubles doit être réalisé lors de différentes séances réparties sur plusieurs mois et le pont calcique qui se forme s'avère être assez poreux⁽⁴⁵⁾.

La fermeture de l'apex avec un silicate de calcium hydraté peut quant à elle être réalisée en deux séances. Les deux visites sont nécessaires en raison du long temps de durcissement de MTA et du fait qu'il faut attendre que le matériau soit durci avant de pouvoir placer l'obturation définitive. Récemment, il a toutefois été démontré que le même traitement avec Biodentine™ ne nécessite qu'une seule séance, car l'humidité n'a aucune influence sur les propriétés de ce matériau⁽⁴⁶⁾.

On obtient ainsi un résultat prédictible et une alternative à l'utilisation de l'hydroxyde de calcium⁽⁴⁷⁾. De par leur caractère hydrophile et la formation d'hydroxyde de calcium, ce sont des matériaux idéaux pour ces traitements. Biodentine™ libère plus d'ions de calcium que MTA⁽²⁾ et a livré des résultats très concluants en tant que bouchon apical dans des procédures d'apexification⁽⁴⁸⁻⁵³⁾. L'addition de carbonate de calcium stimule la réaction dès le début avec, comme résultat, une hydratation optimale. L'addition de chlorure de calcium comme accélérateur et le polymère soluble dans l'eau permettent un faible ratio eau/poudre⁽²⁾. Aucun matériau pouzzolanique ni autre substance cimentaire n'est ajouté, comme l'indique le *tableau 1*. On a constaté que ces matériaux freinaient la formation d'hydroxyde de calcium^(54,55). La résistance à la fracture des dents immatures avec un bouchon apical de Biodentine™ s'avère être similaire à celle de MTA, mais supérieure au groupe de contrôle⁽⁵²⁾.

Biodentine™ a aussi été utilisé avec succès dans l'endodontie régénérative⁽⁵⁶⁻⁵⁸⁾. Ici aussi, la résistance à la fracture était identique à celle de MTA⁽⁵⁹⁾, mais avec la moins grande décoloration⁽⁶⁰⁾ ; il s'agit donc du meilleur matériau pour l'endodontie régénérative, surtout lorsque l'aspect esthétique est important.

Obturation apicale et réparation de perforations

Les ciments d'obturation apicale doivent satisfaire à des exigences spécifiques, car ils doivent démontrer leur efficacité clinique dans des conditions très défavorables. La nature hydrophile du silicate tricalcique semble donc être un atout important. Ces matériaux ont donc aussi été conçus dans ce but spécifique.

Les ciments hydrophiles présentent comme particularité de réagir avec l'environnement dans lequel ils sont placés, et ils entrent en contact avec le sang à l'extrémité de la racine. Ils sont toutefois aussi en contact avec la dentine radiculaire et les résidus de gutta-percha et de sealer utilisés pour l'obturation canalaire. Le fluide tissulaire et le sang n'ont aucun effet sur les propriétés physiques de Biodentine™⁽⁶¹⁾ et ce matériau a une force de liaison plus grande que MTA. Les deux matériaux peuvent cependant être contaminés par le sang⁽⁶²⁾. On a trouvé moins de bactéries dans une région apicale traitée avec Biodentine™ par rapport à MTA⁽⁶³⁾, ce qui démontre que les propriétés antimicrobiennes de Biodentine™ sont supérieures à celles de MTA. La biocompatibilité de Biodentine™ est aussi plus grande que celle de MTA, avec une meilleure adhésion cellulaire lorsqu'il est utilisé comme matériau d'obturation apicale⁽⁶⁴⁾.

Biodentine™ s'avère aussi parfaitement convenir⁽⁶⁵⁾ pour la réparation de perforations, car il génère une réaction tissulaire positive et un dépôt minéral au niveau du site de perforation. Cette réaction est due à la libération des ions d'hydroxyde de calcium dissous. Biodentine™ assure aussi une fermeture hermétique de la zone touchée, ce qui est nécessaire vu que les perforations sont toujours fortement infectées.

Les matériaux utilisés pour la réparation d'une perforation peuvent aussi se détacher au cours de la restauration de la dent. Biodentine™ présente une grande force de liaison initiale face aux contraintes de traction qui ne se détériore pas en contact avec le sang⁽⁶⁶⁾. De plus, il n'est pas influencé par les moyens d'irrigation⁽⁶⁹⁾, ce qui témoigne de sa stabilité.

Conclusion

Biodentine™ est un matériau à base de silicate de calcium hydraté de la deuxième génération, constitué essentiellement de silicate tricalcique et complété avec de l'oxyde de zirconium comme opacifiant et de plusieurs autres additifs. Il a été scientifiquement

conçu dans le but spécifique d'être utilisé comme un substitut dentinaire. Cette finalité est confirmée par les études réalisées, mais d'autres applications cliniques sont également possibles avec ce produit. Il s'agit donc bien plus que de la dentine en 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.

Références

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]

Références

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.

Références

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 - Av. de la Constitution 87 - 1083 Bruxelles

Visitez notre site web pour plus d'informations :
www.septodont.be

