

Biodentine™

Mehr als ein Dentinersatz



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.



Einführung

Zahnhartsubstanz geht durch Karies, Trauma und Abnutzung verloren und wird häufig durch inerte Dentalwerkstoffe ersetzt, die das Volumen wiederherstellen. Wenn die Gesundheit der Zahnpulpa gefährdet ist, müssen verschiedene Maßnahmen ergriffen werden. Zunächst muss die Pulpenvitalität erhalten werden, später sind die Infektionsbehandlung und schließlich die Füllung des Pulpenkavums erforderlich. Liegt eine Pulpenbeteiligung vor, ist ein Material indiziert, das mit der Pulpa oder dem Dentin interagiert. Zu den interaktiven Materialien, die in der Zahnmedizin eingesetzt werden, zählen Kalziumhydroxid in seinen verschiedenen Formen und neuerdings hydraulische Kalziumsilikat-zemente. Hauptmerkmal der hydraulischen Kalziumsilikat-zemente ist ihre Hydraulizität, d. h. ihre Fähigkeit, Wasser zu binden. Diese Werkstoffe lassen sich in feuchten Bereichen verwenden, ohne dass sie ihre Eigenschaften verlieren. Daher sind sie für die retrograde Wurzelkanalfüllung und die Behandlung von Perforationen indiziert. Zu den weiteren wichtigen

Merkmale dieser Werkstoffe zählt außerdem die Freisetzung von Kalziumhydroxid als Nebenprodukt der Hydratation. Das Kalziumhydroxid ist Voraussetzung für die Freisetzung von Kalziumionen und die starke antibakterielle Wirkung. Folglich sind diese Werkstoffe zur Pulpaüberkappung, Apexifikation und Apexogenese geeignet und werden seit kurzem auch in der regenerativen Endodontie eingesetzt.

Die Wahl des Materials ist für den klinischen Behandlungserfolg von entscheidender Bedeutung. Derzeit sind zahlreiche hydraulische Kalziumsilikat-zemente für verschiedene Verfahren erhältlich (Tabelle 1). Da sich diese Werkstoffe erheblich voneinander unterscheiden, ist es wichtig, dass sich der Behandler der Bedeutung der Wahl des richtigen Materials für das jeweilige klinische Anwendungsgebiet bewusst ist. In dem vorliegenden Artikel wird auf Biodentine™ (Septodont, Saint-Maur-des-Fossés, Frankreich) und dessen Eignung für verschiedene klinische Anwendungsgebiete eingegangen.

| Material | Zementtyp | Röntgenkontrastmittel | Zusatzstoffe | Darreichung | Mischverfahren |
|-------------|-------------------|-----------------------|--|--------------------|----------------|
| Biodentine™ | Trikalziumsilikat | Zirkonoxid | Kalziumkarbonat, Kalziumchlorid, Polymer | Pulver/Flüssigkeit | mechanisch |
| MTA Angelus | Portlandzement | Bismutoxid | Kalziumoxid | Pulver/Flüssigkeit | manuell |
| Theracal | Portlandzement | Bariumzirkonat | Strontiumglas, Kunstharz | Spritze | vorgemischt |
| ProRoot MTA | Portlandzement | Bismutoxid | - | Pulver/Flüssigkeit | manuell |

Tabelle 1: Handelsübliche hydraulische Kalziumsilikat-zemente.



Abbildung 1: Biodentine™ in der Handelsform als Pulver und Flüssigkeit.

Merkmale von Biodentine™

Biodentine™ ist in der Handelsform als Pulver und Flüssigkeit erhältlich.

Das Pulver befindet sich in einer Kapsel, die Flüssigkeit in einer Ampulle (Abbildung 1). Das Pulver besteht aus Trikalziumsilikat, Zirkonoxid, Kalziumkarbonat und geringen Mengen an zugesetztem Eisenoxid zur Farbgebung. Die Flüssigkeit setzt sich aus Wasser, Kalziumchlorid und einem wasserlöslichen Polymer zusammen. Biodentine™ Pulver und seine hydratisierten Bestandteile sind genau definiert. Bei der Entwicklung von Biodentine™ wurden die Materialeigenschaften für ein verbessertes klinisches Verhalten optimiert.

Da das Pulver feiner ist als bei anderen Zementtypen dieser Kategorie (Tabelle 2), kommt es zu einer höheren Reaktionsrate. Im Gegensatz zu den anderen hydraulischen Zementen, bei denen es sich vorwiegend um Portlandzement handelt (Tabelle 1), besteht das Pulver größtenteils aus Trikalziumsilikat (Tabelle 3). Die Verwendung reinen Trikalziumsilikats gewährleistet, dass im Unterschied zu Dentalzementen auf Portlandzementbasis kein Aluminium (1, 2) und keine Spurenmetalle (3) enthalten sind. Außerdem wird durch die Verwendung von Zirkonoxid eine adäquate Röntgenopazität und Stabilität sichergestellt, wobei das bei Werkstoffen mit Bismutoxid als Röntgenkontrastmittel bestehende Risiko für Auswaschung und Verfärbungen vermieden wird (4–6). Die Hauptbestandteile sind in

| Material | Oberflächenbestimmung nach BET (m ² /g) |
|-------------------|--|
| Trikalziumsilikat | 1,1187 |
| Biodentine™ | 2,8116 |
| MTA Angelus | 1,0335 |

Tabelle 2: Spezifische Oberflächenbestimmung von Biodentine™ zum Vergleich der feinen Pulverkonsistenz mit der anderer Zementtypen.

Mit freundlicher Genehmigung von Camilleri et al. 2013.

| Identifizierte Phase | Massenanteil des Materialtyps (%) | | |
|----------------------|-----------------------------------|------------|-------------|
| | TCS | Biodentine | MTA Angelus |
| Trikalziumsilikat | 100 | 80,1 | 66,1 |
| Dikalziumsilikat | - | - | 8,4 |
| Trikalziumaluminat | - | - | 2,0 |
| Kalziumkarbonat | - | 14,9 | - |
| Kalziumoxid | - | - | 8,0 |
| Bismutoxid | - | - | 14,0 |
| Zirkonoxid | - | 5,0 | - |
| Siliziumdioxid | - | - | 0,5 |
| Aluminiumoxid | - | - | 1,0 |

Tabelle 3: Beurteilung des Pulvers in der Röntgenbeugungsanalyse nach Rietveld zur Bestimmung der Hauptbestandteile von Biodentine™.

Mit freundlicher Genehmigung von Camilleri et al. 2013.

der Röntgenbeugungsanalyse zu Biodentine™ Pulver übersichtlich dargestellt (Abbildung 2).

Biodentine™ enthält verschiedene Zusätze zur Verbesserung der Materialeigenschaften. Hierzu zählen Kalziumkarbonat, das im Pulver enthalten ist, sowie Kalziumchlorid und ein wasserlösliches Polymer in der Flüssigkeit. Das Kalziumkarbonat stellt eine Quelle

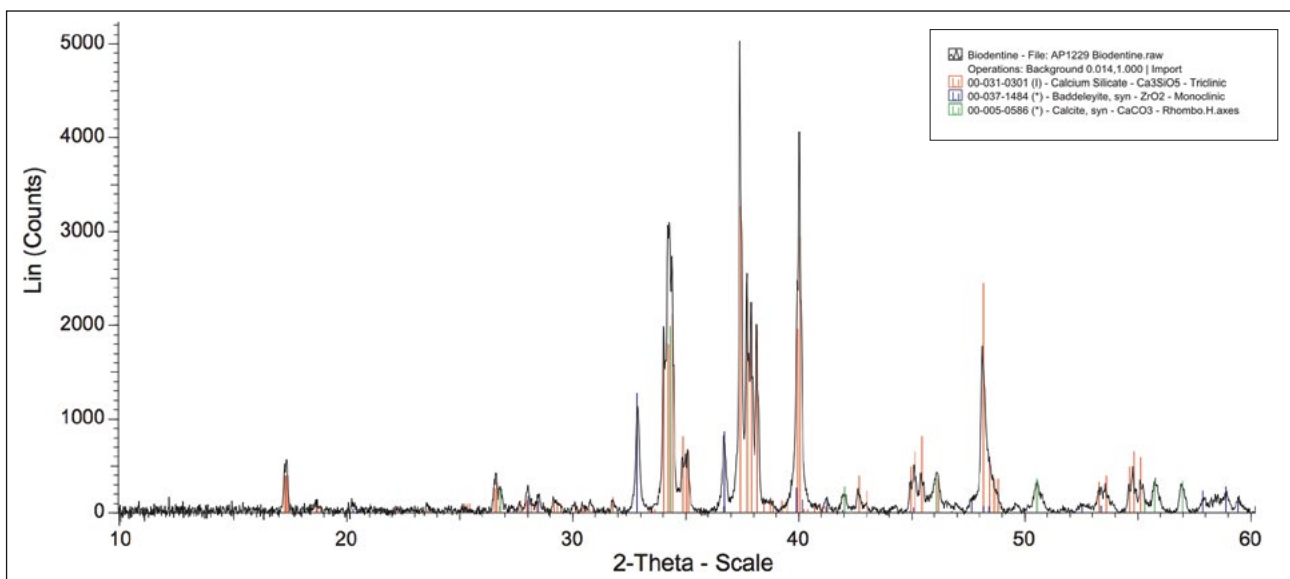


Abbildung 2: Röntgenbeugungsanalyse von Biodentine™ Pulver zur Bestimmung der Hauptphasen Trikalziumsilikat, Zirkonoxid und Kalziumkarbonat.

Mit freundlicher Genehmigung von Camilleri et al. 2013.

freier Kalziumionen dar, die in Lösung gehen, sobald das Pulver mit der Flüssigkeit gemischt wird. Die gelösten Kalziumionen führen zu einem stärkeren Wärmefluss im früheren Reaktionsstadium, wodurch die Reaktionsrate erhöht wird (2), wie in Abbildung 3 dargestellt. Das Kalziumchlorid verkürzt die Abbindezeit von Biodentine™ erheblich im Vergleich mit anderen, ähnlichen Werkstoffen (7, 8). Durch das wasserlösliche Polymer wird das Verhältnis von Wasser zu Zement herabgesetzt, was die physikalischen Eigenschaften von Biodentine verbessert. Die Druckfestigkeit und Mikrohärtigkeit von Biodentine™ sind sehr viel höher als die anderer, vergleichbarer Werkstoffe (7). Der Ablauf der Hydratation wird anhand der Mikrostruktur von Biodentine™ (Abbildung 4) deutlich: Das Trikalziumsilikat reagiert und lagert sich an die

Kalziumkarbonatpartikel an (9). Es kommt zur Bildung großer Mengen an Kalziumhydroxid, wie sich im Röntgenbeugungsscan des hydratisierten Materials (10) als deutlich erkennbare Kalziumhydroxidspitze bei 18 Grad zeigt (Abbildung 5). Die spezielle chemische Zusammensetzung, die feine Partikelgröße, das niedrige Verhältnis von Wasser zu Zement und das Vorliegen von Kalziumkarbonat tragen zu optimalen Materialeigenschaften und ein herausragendes klinisches Verhalten bei. Darüber hinaus weist das Material im Vergleich zu ähnlichen Werkstoffen (11) nur eine geringe Porosität auf (Tabelle 4) – ein weiterer klinischer Vorteil. Aufgrund seiner Hydraulizität darf das Material unter keinen Umständen austrocknen, da es sonst zu Rissen an der Grenzfläche (Abbildung 6) und im Inneren des Materials kommt (11).

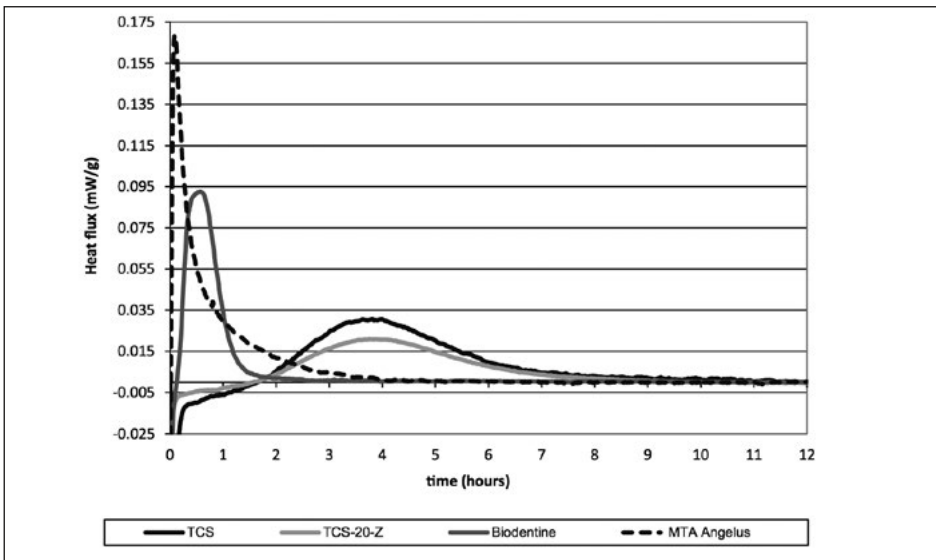


Abbildung 3: Die Wärmeflussmessung von Biodentine™ zeigt die hohe Reaktionsrate im frühen Stadium der Hydratation. (TCS: Trikalziumsilikatzement; TCS-20-Z ist ein Trikalziumsilikatzement mit 20%igem Zirkonoxidanteil).

Mit freundlicher Genehmigung von Camilleri et al. 2013.

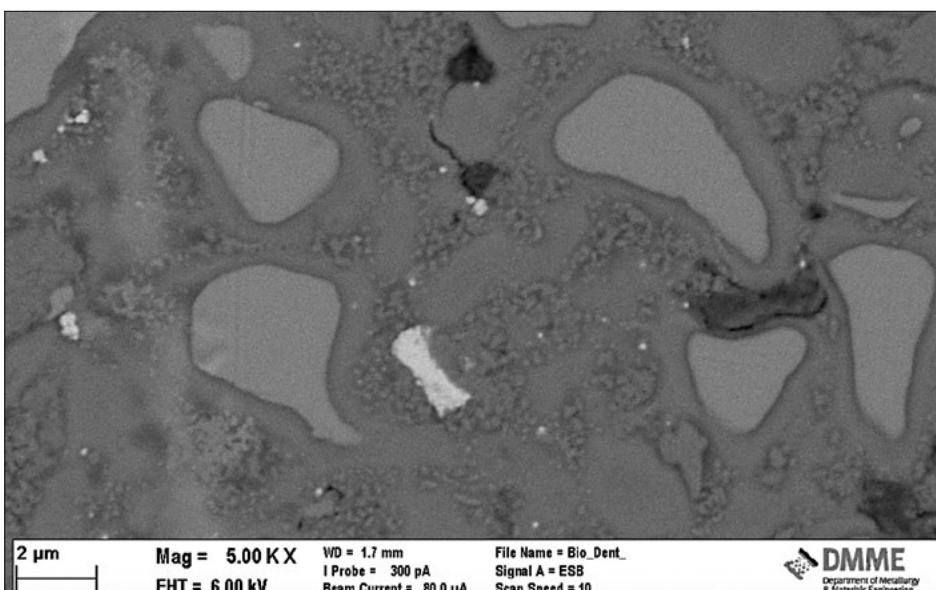


Abbildung 4: In der Rasterelektronenmikroskopie des abgebundenen Biodentine™ ist die Mikrostruktur des Materials erkennbar.

Mit freundlicher Genehmigung von Camilleri et al. 2013.

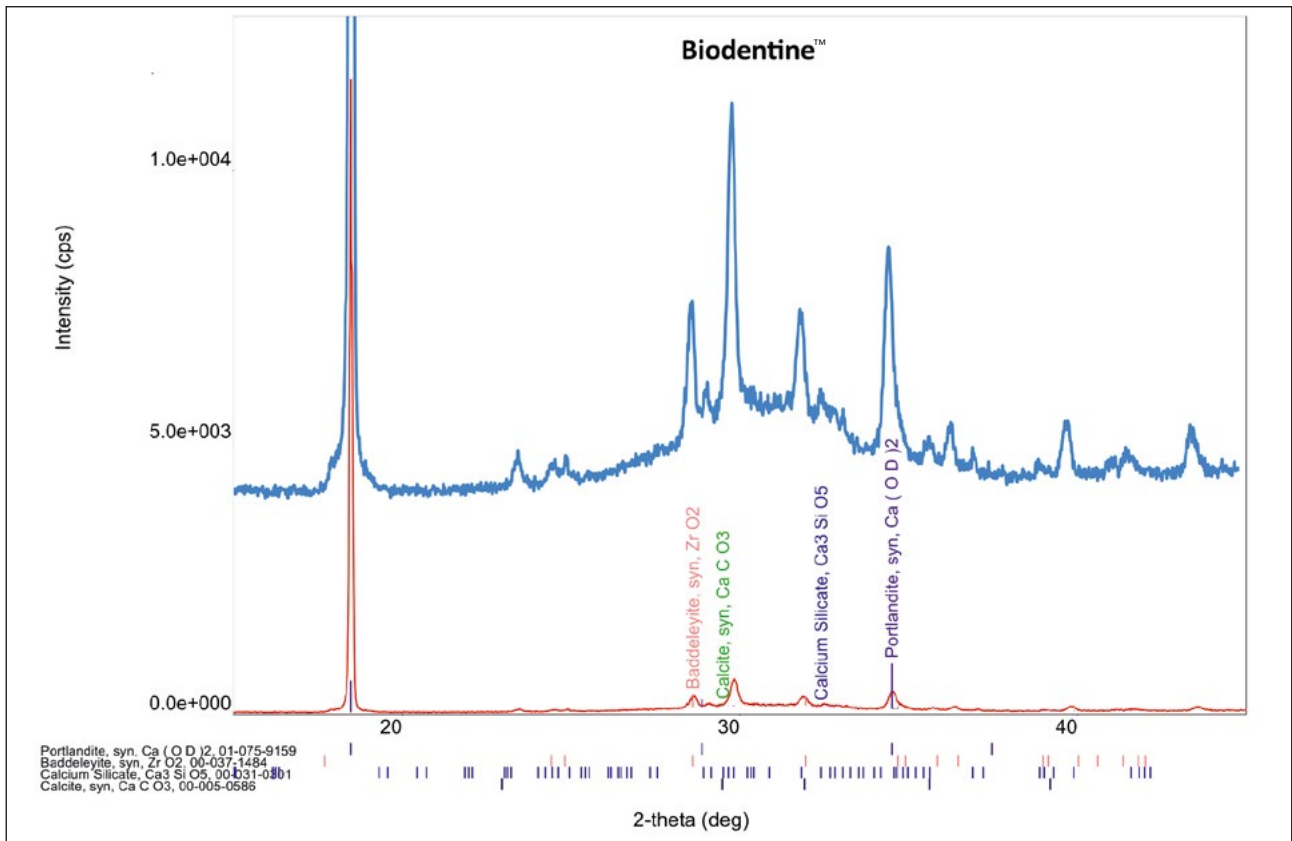


Abbildung 5: Röntgenbeugungsanalyse des abgebundenen Biodentine™ zur Darstellung der Hauptphasen nach dem Abbinden. In der grafischen Darstellung überwiegt Kalziumhydroxid.

Mit freundlicher Genehmigung von Camilleri 2014.

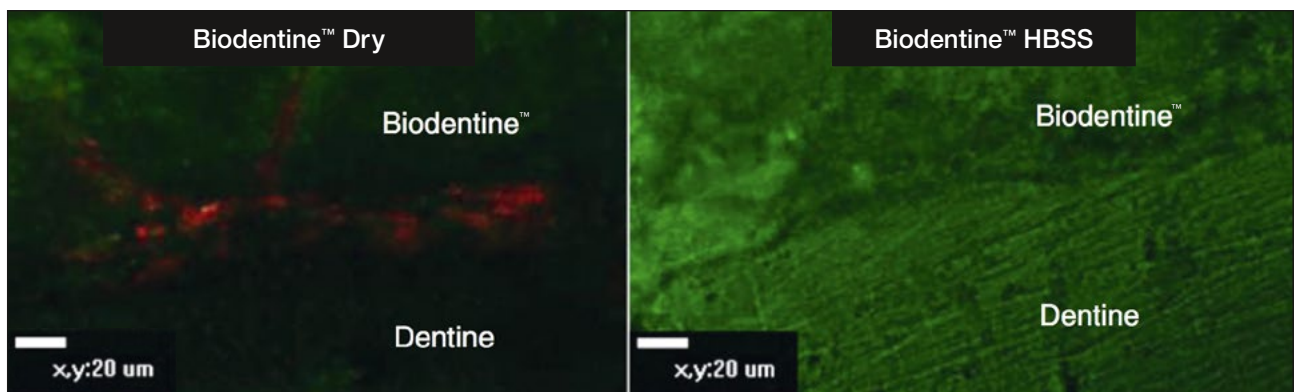


Abbildung 6: Konfokale Lasermikroskopie von trocken und nass in Kochsalzlösung nach Hanks (HBSS) gelagertem Biodentine™ zur Verdeutlichung der Wichtigkeit der durchgängigen feuchten Lagerung.

Mit freundlicher Genehmigung von Camilleri et al. 2014.

| Messparameter | Einheiten | Material | Zusatzstoffe | Darreichung | Mischvorgang |
|-------------------------------------|-------------------|----------|--------------|-------------|--------------|
| | | TCS-20-Z | Bioaggregate | Biodentine | IRM |
| Durchschnittlicher Porendurchmesser | μm | 0,0508 | 0,0337 | 0,0121 | 0,0205 |
| Gesamtporenfläche | m ² /g | 13,101 | 24,321 | 21,752 | 10,545 |
| Hauptmassedichte | g/ml | 1,8637 | 1,8007 | 2,0444 | 2,3455 |
| Porosität | % | 30,98 | 36,86 | 13,44 | 12,66 |

Tabelle 4: Prozentuale Porosität von Biodentine™ im Vergleich zu ähnlichen Werkstoffen.

Mit freundlicher Genehmigung von Camilleri et al. 2014.

Klinische Anwendungsgebiete

Pulpaüberkappung und Dentinersatz

Biodentine™ setzt Kalziumionen frei (10, 12). Da die initiale Freisetzungsrates höher ist als bei anderen, ähnlichen Werkstoffen (12, 13), ist dieses Material ideal zur Überkappung der Pulpa geeignet. Die Oberfläche von Biodentine™ weist im Vergleich zu ProRoot MTA, Dycal und Theracal die höchste Oberflächen-Kalziumkonzentration auf (14). Bei der direkten Pulpaüberkappung mit Biodentine™ ist die Bildung von Dentinbrücken klinisch nachweisbar (15–17). In klinischen Fällen mit irreversibler Pulpitis zeigte sich nach der Behandlung mit Biodentine™ eine Verkleinerung der apikalen Läsionen in der digitalen Volumentomographie (18).

Die Reaktion der Pulpa auf Biodentine™ ist mit der auf andere, ähnliche Werkstoffe, wie MTA (19), vergleichbar und äußert sich bei humanen dentalen Pulpazellen in einer vermehrten Zellproliferation und erhöhten alkalischen Phosphataseaktivität (20). Dasselbe Reaktionsverhalten wurde bei der Untersuchung von gelöstem Biodentine™ (13) beschrieben. Die Freisetzung von Kalzium trägt darüber hinaus zur antimikrobiellen Wirkung von Biodentine™ bei. Diese ist von entscheidender Bedeutung, da es sich bei Karies um eine durch Bakterien hervorgerufene Erkrankung handelt. Biodentine™ weist adäquate antimikrobielle Eigenschaften auf (13), die jedoch weniger ausgeprägt sind als bei der Überkappung mit Kalziumhydroxid. Die stärkere antimikrobielle Wirkung von Kalziumhydroxid geht allerdings auch mit einer höheren Zytotoxizität einher (21).

Weiterhin kann das Material aufgrund seiner physikalischen Eigenschaften auch im Einschnittverfahren verwendet werden, wodurch überflüssige Schichten und Grenzflächen vermieden werden, die zu Undichtigkeiten (Mikroleakage) und Misserfolgen bei der Restauration führen können. Unter Verwendung von Biodentine™ kommt es nachweislich zu weniger Mikroleakage als bei Dentinersatzmaterialien auf Kunstharzbasis (22). Die definitive Versorgung auf Biodentine™ kann sich als problematisch erweisen, da es auf Wasserbasis hergestellt ist. So sollte mit der definitiven Restauration mindestens zwei Wochen abgewartet werden. Danach können Total-etch- oder selbstkonditionierende Dentinadhäsive verwendet werden (23). Die Dentinkonditionierung kann zu mikrostrukturellen Veränderungen des Materials führen (24); obwohl es *in vitro* bei allen Kompositrestaurationen nach Thermocycling zum Verlust der Restauration kam, hat sich die Total-etch-Technik dennoch als wirksamer erwiesen als die selbstkonditionierenden Systeme (25). Die Mikrostruktur an der Grenzfläche von Biodentine™ und Komposit bei Verwendung von Total-etch- und selbstkonditionierendem Dentinadhäsiv ist in Abbildung 7 dargestellt. Biodentine™ ist als temporäres Restaurationsmaterial im Schmelzbereich nachweislich für bis zu sechs Monate geeignet und hat sich bei der Verwendung als langfristiges Unterfüllungsmaterial mit darüberliegender Kompositrestauration als wirksames Dentinersatzmaterial erwiesen (26).

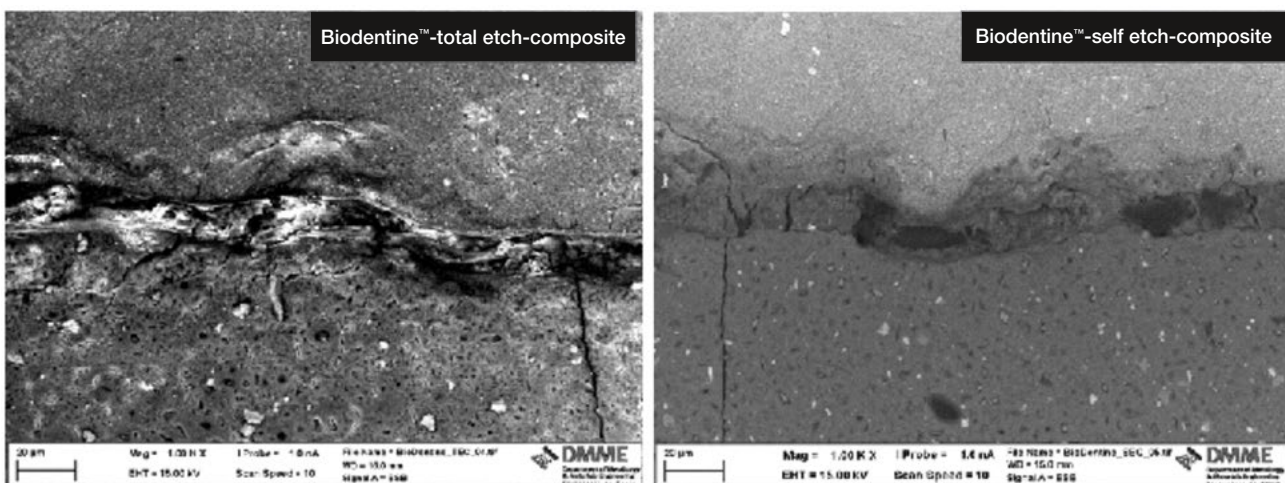


Abbildung 7: Eigenschaften der Grenzfläche von Biodentine™ und Komposit nach Applikation von Total-etch- und selbstkonditionierendem Dentinadhäsiv.

Mit freundlicher Genehmigung von Meraji und Camilleri 2017.

Andere trikalziumsilikatbasierte Überkappungsmaterialien, die eine Kunstharzmatrix enthalten, haben den Vorteil, dass sie einfach mit einem Komposit geschichtet werden können, um einen starken Verbund zu gewährleisten (25). Allerdings ist dies mit ungünstigen Wirkungen auf die Pulpa verbunden (27). Die Freisetzung von Kalziumionen aus diesen Werkstoffen ist nachweislich gering, außerdem wird kein kristallines Kalziumhydroxid gebildet (10). Überkappungsmaterialien mit Kunstharzmatrix, wie beispielsweise Theracal, sind von der Umgebungsfeuchtigkeit abhängig, deren Eindringen für die Hydratation des aktiven Bestandteils Trikalziumsilikat unerlässlich ist. Die Flüssigkeitspenetration ist allerdings unzureichend – in einem Modell mit extrahierten Zähnen, die 15 Tage in Nährmedium gelagert wurden, war bei Theracal eine eingeschränkte Hydratation des Trikalziumsilikats zu beobachten (28). Wie bereits früher veröffentlichte Arbeiten haben auch neuere *In-vitro*- (29) und *In-vivo*-Studien (30) gezeigt, dass es in mit Theracal angereicherten Nährmedien zu einer erheblichen Verringerung der Fibroblastenproliferation in der Pulpa und zur Freisetzung von proinflammatorischem Interleukin 8 aus angezüchteten Pulpa-fibroblasten und Kulturen vollständiger Zähne kommt (29).

Im Modell mit Kulturen vollständiger Zähne (31) und in einer kürzlich abgeschlossenen klinischen Studie (30) zeigte sich, dass Biodentine™ bessere biologische und klinische Ergebnisse ermöglicht als Dentinersatzmaterialien auf Kunstharzbasis. Biodentine™ fördert nachweislich die Pulpaheilung, sowohl im Modell mit Kulturen vollständiger Zähne (29) als auch in klinischen Studien, in denen es das beste klinische Ergebnis im Vergleich zu Überkappungsmaterialien auf Kunstharzbasis erbrachte (30).

Pulpotomie

Bei einer weiter fortgeschrittenen Pulpenbeteiligung – insbesondere der Milchzähne – muss eine Pulpotomie durchgeführt werden. Biodentine™ zeigte in Kontakt mit isolierten Stammzellen aus exfoliierten menschlichen Milchzähnen eine bessere Zytokompatibilität und Bioaktivität als MTA Angelus, Theracal und IRM (32). Im Tiermodell führte die Verwendung von Biodentine™ als Pulpotomiematerial zu stärker mineralisierten Gewebebrücken, die im Vergleich zu MTA röntgenologisch besser darstellbar sind (33).

Hohe klinische Erfolgsraten wurden mit Biodentine™ bei der Pulpotomie an Milchmolaren erzielt; hier zeigten sich bessere Ergebnisse als unter Verwendung des Therapiestandards Formocresol (34, 35). Im Vergleich zu Kalziumhydroxid bei Vitalamputationen an Milchmolaren zeigte die Behandlungsgruppe unter Biodentine™ ein positives regeneratives Potenzial. Dabei wurden klinische Behandlungserfolge bei denselben Indikationen und mit gleichem Wirkmechanismus wie Kalziumhydroxid erzielt, allerdings ohne dessen negative physikalische und klinische Eigenschaften (36). Die Pulpotomie mit Biodentine™ führte zu vorhersagbaren klinischen Behandlungsergebnissen, die mit denen von MTA vergleichbar waren (37–41). Außerdem war Biodentine™ auch Behandlungsmethoden überlegen, die weniger dem Therapiestandard entsprechen, wie Laser (41) und Propolis (39). Bei Verwendung im Rahmen der Pulpotomie ruft Biodentine™ keine Zahnverfärbungen hervor (42).

Behandlung des unreifen Apex

Nach dem Verlust des Pulpagewebes muss der Wurzelkanal abgefüllt werden. Wurzelunreife Zähne stellen aufgrund ihrer Anatomie ein Problem dar, da ihre Wurzeln kurz und dünn sind und die Form der Wurzelkanäle die routinemäßige Obturation erschwert. Zudem besteht bei den dünnen Dentinwänden ein erhöhtes Frakturrisiko.

Die Apexifikation ermöglicht die Bildung einer Hartsubstanzbarriere am Apex, wodurch die Wurzelkanäle gegenüber dem periapikalen Bereich verschlossen werden. Zur Bildung einer Hartsubstanzbrücke durch Kalziumionen aus dem Dentin kommt es, wenn entsprechende Umgebungsbedingungen geschaffen werden. Solche Bedingungen lassen sich mithilfe von Materialien erzielen, die Kalziumhydroxid freisetzen. In der Vergangenheit wurden nicht härtende Kalziumhydroxidpasten verwendet. Kalziumhydroxid setzt Kalziumionen frei, die ideale Umgebungsbedingungen für die Bildung von Hartsubstanzbrücken schaffen (43). Ein weiterer Vorteil von Kalziumhydroxidpasten sind ihre antibakteriellen Eigenschaften, da pulpenlose und somit devitale Zähne für eine bakterielle Besiedlung anfällig sind (44). Die Behandlung mit Kalziumhydroxidpaste erstreckt sich mit mehreren Sitzungen allerdings meist über Monate, außerdem weisen die nach der Apexifikation gebildeten Kalziumbrücken eine poröse Struktur auf (45).

Bei der Verwendung von hydraulischem Kalziumsilikatzement als apikalen Plug erfordert die Apexifikation nur zwei Sitzungen. Zwei Termine sind durch die lange Abbindezeit von MTA bedingt, das vor Einsetzen der definitiven Restauration vollständig abgebunden sein muss. In einer jüngeren Untersuchung wurde gezeigt, dass bei der Apexifikation mit einem apikalen Plug aus Biodentine™ nur eine einzige Sitzung nötig ist, da eine Benetzung der Materialoberfläche keinerlei negative Auswirkungen auf die Materialeigenschaften hat (46).

Diese Behandlungsmethode kann als vorhersagbar betrachtet werden und eine Alternative zur Verwendung von Kalziumhydroxid darstellen (47). Aufgrund der hydraulischen Eigenschaften und der Bildung von Kalziumhydroxid sind diese Werkstoffe für die beschriebenen Verfahren ideal geeignet. Biodentine™ setzt nachweislich mehr Kalziumionen frei als MTA (2). Über die erfolgreiche Verwendung als apikaler Plug zur Apexifikation wurde bereits berichtet (48–53). Die Hydratation wird durch Zugabe von Kalziumkarbonat als Keimbildner optimiert, wodurch die Reaktionsrate in der Anfangsphase erheblich gesteigert wird. Die Zugabe von Kalziumchlorid als Reaktionsbeschleuniger und des wasserlöslichen Polymers ermöglichen ein geringes Verhältnis von Wasser zu Pulver (2). Wie in Tabelle 1 beschrieben, kommt Biodentine™ ohne Zusatz von Puzzolan und anderen Zementsubstanzen aus. Die Zugabe solcher Materialien schränkt nachweislich die Bildung von Kalziumhydroxid ein, das bei Apexifikationsverfahren unerlässlich ist (54, 55). Die Frakturresistenz wurzelunreifer Zähne mit apikalem Biodentine™-Plug war mit MTA vergleichbar und höher als in der Kontrollgruppe (52).

Biodentine™ wurde zudem erfolgreich in der regenerativen Endodontie eingesetzt (56–58). Auch hier war die Frakturresistenz mit der von MTA vergleichbar (59). Biodentine™ zeigte bei diesen klinischen Fällen das geringste Verfärbungsrisiko (60). Daher ist es das Material der Wahl im Rahmen der regenerativen Endodontie, insbesondere in ästhetisch anspruchsvollen Fällen.

Retrograde Wurzelkanalfüllung und Perforationsbehandlung

Werkstoffe für die retrograde Wurzelkanalfüllung müssen spezielle Eigenschaften besitzen, da sie für einen

klinischen Erfolg unter sehr ungünstigen Bedingungen hohe Anforderungen erfüllen sollen. Die hydraulischen Eigenschaften der Trikalziumsilikatzemente sind hier von Vorteil, diese Werkstoffe wurden sogar eigens für diesen Zweck entwickelt. Das Hauptproblem hydraulischer Zemente liegt jedoch darin, dass sie mit der Umgebung reagieren, in der sie verwendet werden. Im Wurzelkanal kommen sie unmittelbar nach dem Einsetzen mit Blut in Kontakt, außerdem kommen sie mit dem Wurzeldentin und Rückständen von Guttapercha und Sealern in Berührung, die zur Obturation des Wurzelkanals verwendet wurden. Die physikalischen Eigenschaften von Biodentine™ werden durch den Kontakt mit Gewebeflüssigkeiten und Blut nicht beeinträchtigt (61). Bei der Verwendung zur retrograden Wurzelkanalfüllung wies Biodentine™ eine höhere Verbundfestigkeit auf als MTA, wobei die Verbundfestigkeit beider Materialien durch die Kontamination mit Blut beeinträchtigt wird (62). Am apikalen Wurzeldentin wurden bei Behandlung mit Biodentine™ im Vergleich zu MTA weniger Bakterien nachgewiesen (63); dies verweist auf die gegenüber MTA überlegenen antimikrobiellen Eigenschaften von Biodentine™. Die Biokompatibilität von Biodentine™ wurde als marginal besser als die von MTA beurteilt und die Zelladhäsion war bei Verwendung als retrogrades Wurzelkanalfüllmaterial besser (64). Biodentine™ hat sich zudem für die Behandlung von Perforationen als geeignet erwiesen (65), da es eine günstige Gewebereaktion und Mineralisation der Perforationsstelle hervorruft. Dies ist auf die Freisetzung von Kalziumhydroxid zurückzuführen. Darüber hinaus versiegelt Biodentine™ diesen Bereich gut (66, 67). Da Perforationen einem hohen Infektionsrisiko ausgesetzt sind, ist ein adäquater Verschluss zwingend notwendig.

Das zur Perforationsdeckung verwendete Material kann im Zuge der weiteren restaurativen Versorgung reduziert bzw. entfernt werden. Biodentine™ weist bereits frühzeitig eine hohe Verbundfestigkeit auf, die auch durch den Kontakt mit Blut nicht gemindert wird (68). Darüber hinaus wird Biodentine nicht durch die verwendeten Spüllösungen beeinträchtigt (69) was auf eine hohe Stabilität des Materials verweist.

Schlussfolgerung

Biodentine™ ist ein hydraulisches Kalziumsilikat der zweiten Generation und besteht hauptsächlich aus Trikalziumsilikat, Zirkonoxid als Röntgenkontrastmittel und einigen Zusätzen. Seine wissenschaftliche Entwicklung erfolgte speziell für die Verwendung

als Dentinersatzmaterial. Die bislang durchgeführten Studien zeigen, dass Biodentine™ nicht nur als Dentinersatzmaterial, sondern auch für andere klinische Anwendungsgebiete geeignet ist – es ist also mehr als nur ein Dentinersatz.



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.

Curriculum Vitae

Frau Prof. Josette Camilleri schloss ihr Studium der Zahnheilkunde an der Universität von Malta mit dem Bachelor of Dental Surgery und Master of Philosophy in Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde ab. Ihren Dokortitel erwarb sie unter der Betreuung des verstorbenen Prof. Tom Pitt Ford am Guy's Hospital, King's College London. Sie war an der Universität von Malta in der Abteilung für Hoch- und Tiefbau des Fachbereichs Gebäudesysteme und -technik tätig, sowie in der Abteilung für Restaurative Zahnheilkunde des Fachbereichs ZMK. Sie ist derzeit Senior-Dozentin an der zahnmedizinischen Fakultät der Universität von Birmingham im Vereinigten Königreich. Ihr Forschungsinteresse gilt endodontischen Werkstoffen wie Wurzelspitzenfüllungen und Wurzelkanalsealern mit Schwerpunktthemen wie Mineraltrioxidaggregat (MTA), Portlandzementhydratation und zementartige Werkstoffe, die als Biomaterialien und auch im Bauwesen Einsatz finden.

Sie hat über 100 Arbeiten in internationalen peer-reviewed Fachjournalen publiziert und wurde über 4 000 Mal zitiert. Sie ist Herausgeberin von „Mineral trioxide aggregate. From preparation to application“ erschienen bei Springer 2014. Zudem ist sie Mitautorin der 7. Ausgabe von „Harty's Endodontics in Clinical Practice“ (Hrsg.: BS Chong) und „Glass ionomer cements in Dentistry“ (Hrsg.: SK Sidhu). Sie ist im In- und Ausland als Referentin tätig und Reviewer sowie Mitglied des wissenschaftlichen Beirats zahlreicher internationaler Fachblätter wie *Journal of Endodontics*, *Scientific Reports*, *Dental Materials*, *Clinical Oral Investigation*, *Journal of Dentistry*, *Acta Odontologica Scandinavica* und *Acta Biomaterialia*.

Literatur

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.

Literatur

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]
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, Kolecki 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, Aminishakib 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.
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, Jingerwar 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. Niranjani 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, Esmaeili 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. Gunesser 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 GmbH
Felix-Wankel-Str. 9
53859 Niederkassel, Deutschland
Tel.: +49 (0) 228 971 26-0
Fax: +49 (0) 228 971 26-66
E-Mail: info@septodont.de
www.septodont.com

