

Endodontide Biyoseramik İçerikli Tamir Materyallerine Güncel Bir Bakış

Current Perspectives of Bioceramic-Based Repair Materials in Endodontics

Emel Olga ÖNAY*

Özet

Biyoseramik içerikli dentin tamir materyalleri esas olarak kalsiyum silikat ve kalsiyum fosfat içerikli olup hidroksiapatit gibi biyolojik materyallere yakınlıkları dolayısıyla biyouyumludur ve dokuda rejeneratif cevabı teşvik eder. Mineral trioxide aggregate (MTA) pulpa rejenerasyonu ve doku tamiri gibi endodontik uygulamalarda kullanılmak üzere tanıtılan ilk biyoseramik içerikli materyaldir. MTA'nın barındırdığı üstün örtücülük, biyouyumluluk, rejeneratif kapasite ve antibakteriyel özelliklerine rağmen, manüple edilebilirliğindeki zorluk ve uzun sertleşme süresi gibi kısıtlamalar materyal için dezavantaj oluşturur. Bu kısıtlamaları aşmak adına yeni biyoseramik içerikli dentin tamir materyallerinin geliştirilmesine devam edilmektedir. Bu derleme makalesinin amacı endodontide yeni geliştirilen biyoseramik içerikli materyallerin fiziksel, mekanik ve biyolojik özelliklerini güncel literatür ışığında sunmaktır.

Anahtar Kelimeler: Dentin; mineral trioksit agregat

Abstract

Bioceramic-based dentin replacement and repair materials are mainly calcium silicate and calcium phosphate compounds which exhibit biocompatibility due to their similarity with biological compounds, like hydroxyapatite and have the ability to induce a regenerative response in the organism. Mineral trioxide aggregate (MTA) is the first bioceramic material patented for endodontic applications such as pulpal regeneration and hard tissue repair. Despite the excellent sealing ability, biocompatibility, regenerative capabilities and antibacterial properties, MTA has some drawbacks such as poor handling properties and a long setting time. Therefore, new bioceramic-based root dentin replacement and repair materials are continually being developed to further improve their properties. The aim of this literature review is to present investigations regarding physical, mechanical and biological properties of recently developed bioceramic-based repair materials in endodontics.

Key Words: Dentine; mineral trioxide aggregate

* Prof. Dr., Başkent Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

Biyoseramik materyaller etkileşime girdiği canlı dokular üzerinde oluşturduğu etkiler sebebiyle biyoaktif veya biyo inert olarak sınıflandırılır. Cam ve kalsiyum fosfat gibi biyoaktif materyaller, çevreleyen dokular ile iletişime geçerek daha güçlü yapıların oluşumunu teşvik eder. Buna karşın zirkonyum ve alüminyum oksit gibi biyo inert materyaller etkileşime girdiği dokular üzerinde herhangi bir biyolojik ya da fizyolojik etki yapmadan etki gösterir. Biyoseramik materyaller, ortopedide eklem protezi olarak veya metal implantların daha biyoyumlu hale gelmesini sağlamak amacıyla kaplama materyali olarak kullanılır. Buna ilave olarak, poröz yapıda olan kalsiyum fosfat içerikli biyoseramikler kemik grefti olarak kullanılır.¹

Biyoseramik içerikli materyaller, üstün fiziksel ve biyolojik özellikleri dahilinde biyoyumlu ve osteokondüktif özellik göstermesi, diş dokusuyla kimyasal olarak bağlanabilmesi, hermetik kapatma sağlaması, doku sıvılarında erimemesi, radyopak ve iyi manüple edilebilir olması nedeniyle endodonti pratiğinde yaygın kullanım alanı bulmaya başlamıştır.² Biyoseramik materyaller kimyasal olarak kalsiyum silikat ve kalsiyum fosfat içeriklerinin bir araya gelmesi ile kullanıma sunulmuştur. Biyoseramik içerikli materyallerin klinik kullanım alanları Kutu 1’de gösterilmiştir.² Bu materyaller içerisinde ilk olarak tanıtılan ve hidrolik kalsiyum silikat içerikli olan Mineral Trioksid Aggregate (MTA; ProRoot MTA; Dentsply Tulsa Dental, Tulsa, OK, Amerika Birleşik Devletleri), üstün örtücülük, biyoyumluluk, rejeneratif kapasite ve antibakteriyel özellikleri sebebiyle tercih edilen bir materyal haline gelmiştir.³ Ancak MTA’nın manüplasyon zorluğu, uzun sertleşme süresi, içerdiği toksik bileşenler, kanaldan uzaklaştırılabilmeye zorluk, dişte oluşturduğu renk değişimi ve pahalı olması gibi dezavantajlar nedeniyle klinikte kullanımı anlamında bir takım kısıtlamaları da beraberinde getirmektedir.³ MTA’nın bu kısıtlamalarından dolayı, toksik olmayan, biyolojik olarak aktif, ucuz, iyi manüple edilebilir, kısa zamanda sertleşen, tedavi sonrası minimal komplikasyona sahip olan yeni biyomateryallerin gelişimi gündemdedir.

Kutu 1. Biyoseramik içerikli materyallerin klinik kullanım alanları

<p>Rejeneratif pulpa tedavileri</p> <p>Direkt kuafaj işlemlerinde pulpa kaplama materyali olarak</p> <p>Apeksogenezis, apeksifikasyon işlemleri</p> <p>Perforasyon tamiri</p> <p>Retrograt dolgu materyali ve kök kanal dolgu materyali olarak</p>
--

Bu derleme makalesinde kök kanal dolgu materyali amacıyla kullanılan biyoseramik materyaller hariç tutularak, doku rejenerasyonunu ve tamirini destekleyen biyoseramik içerikli simanların fiziksel ve biyolojik özellikleri güncel literatür bilgisi dahilinde incelenmiştir. Literatürde yer alan gerek ticari anlamda yer bulmuş gerekse deneysel amaçla kullanılmış, ancak sınırlı düzeyde araştırılmış biyoseramik içerikli simanlar ise Tablo 1’de gösterilmiştir.

Bioaggregate

Bioaggregate (Innovative BioCeramix Inc, Vancouver, BC, Kanada) kalsiyum silikat içerikli bir materyal olarak içerisinde kalsiyum silikat hidrat, kalsiyum hidroksit, hidroksiapatit, silika ve tantalyum oksit içerir. MTA’nın modifiye bir türü olan materyal, MTA’dan farklı olarak radyopak özelliğini bizmut oksit yerine tantalyum oksitten almaktadır. Alüminyum içermeyen materyalin sertleşme süresinin 4 saat olduğu belirtilmiştir.⁴ Materyalin tozunun deiyonize su ile karıştırılmasıyla beraber kalsiyum silikat jeli ve kalsiyum hidroksitten oluşan bir nanokompozit yapı oluşmaktadır. Kalsiyum silikat jeli hidroksiapatit ile birlikte sızdırmaz bir yapının oluşumuna katkıda bulunmaktadır.⁵

Bioaggregate’in fiziksel özellikleri. Bioaggregate diğer kalsiyum silikat içerikli biyomalzemelere göre sırasıyla 16,3 MPa ve 10,7 HV olan daha düşük baskı dayanımı ve yüzey mikrosertliği göstermiştir.^{6,7} İlave olarak, Bioaggregate’in 1, 3, ve 7 günlük sürelerde suda bekletilmesinden sonra baskı dayanım kuvvetlerinin sırasıyla 17.7, 20.5 ve 22 MPa olduğu gösterilmiştir.⁶ MTA ile karşılaştırılan Bioaggregate’in, baskı kuvvetleri açısından daha az dirençli olduğu ifade edilmiştir. Bu nedenle vital pulpa tedavileri, furkasyon tamirini gerektiren durumlar gibi okluzal kuvvetlerin söz konusu olduğu klinik vakalarda Bioaggregate kullanımı tavsiye edilmemektedir. Bununla beraber, Bioaggregate’in bu tip tedavilerde kullanılması halinde üstünde hali hazırda bir daimi restorasyon olacağı için okluzal kuvvetlere dayanımında bir problem olmayacağı ayrıca belirtilmiştir.⁸

Bioaggregate’in sızdırmazlık ve bağlanma dayanımı özellikleri. Bioaggregate’in sızdırmazlık özelliğinin, retrograt dolgu olarak kullanıldığında MTA ile aynı, amalgamdan ise daha üstün olduğu tespit edilmiştir. Materyalin bu özelliğinin sertleşme esnasında gösterdiği genleşme ve materyalin içerisinde bulunan nano boyutlu partiküllerle ilişkili olduğu belirtilmiştir.⁸ Bu bağlamda, apatit yapısı oluşturulduğunda Bioaggregate’in içeriğinde bulunan kalsiyum ve fosfatın katkılarının olabileceği belirtilmiştir.⁹

Tablo 1: Literatürde yer alan diğer biyoseramik içerikli simanlar, önerilen kullanım yerleri ve içerikleri.

Materyal	Kullanım Yeri	Üretici Firma	İçerik
Harvard MTA XR OptiCaps	PK, AG, RD, KP-R	Harvard Dental International GmbH, Hoppegarten, Almanya	Çeşitli mineral oksitler, bizmut oksit
Ledermix MTA	PK, AG, RD, KP-R, AF	Riemser, Riems, Almanya	Toz: Çeşitli mineral oksitler Likid: Su
MTA Plus	PK, AG, RD, KP-R, AF	Prevest Detpro Limited, Jammu, Hindistan	Toz: Trikalsiyum silikat, dikalsiyum silikat Likid 1: Su Likid 2: Jel
Tech Biosealer	PK, AG, RD, KP-R, AF	Isasan srl, Rovello Porro, Co, İtalya	Toz: Beyaz renkli kalsiyumdan zengin karışım, kalsiyum sülfat, kalsiyum klorit, montmorilonit Likid: Dulbecco'nun fosfat tamponlu salin solusyonu
BioMTA (Ortho MTA, Retro MTA)	RD, KP-R, AF	BioMTA, Seoul, Kore	Toz: Trikalsiyum silikat, dikalsiyum silikat, trikalsiyum alüminat, tetrakalsiyum alüminoferrit, serbest kalsiyum oksit, bizmut oksit Likid: Deiyonize su
iRoot BP ve iRoot BP Plus	PK, AG, RD, KP-R, AF	Innovative BioCeramix Inc, Vancouver, Kanada	Alüminyum içermeyen kalsiyum silikat, kalsiyum fosfat, kalsiyum hidroksit, niobium oksit, zirkonyum oksit
Endocem MTA	PK, RD, KP-R	Maruchi, Wonju-si, Kore	Toz: Kalsiyum oksit, alüminyum oksit, silikat oksit, magnezyum oksit, bizmut trioksit Likit: Su
Generex A	RD, KP-R	Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK, Amerika Birleşik Devletleri	Toz: Kalsiyum silikat, hidroksiapatit, bizmut oksit Likid: Jel
Capasio	RD, KP-R	Primus Consulting, Bradenton, FL, Amerika Birleşik Devletleri	Toz: Kalsiyum silikat, alumina silikat, hidroksiapatit, bizmut oksit Likid: Su
Ceramicrete-D	RD, KP-R	Tulsa Dental Specialties/Argonne National Laboratory, Argonne, IL, Amerika Birleşik Devletleri	Toz: Magnezyum fosfat, hidroksiapatit, bizmut oksit Likid: Su

Kısaltmalar: PK, pulpa kaplaması; AG, apeksogenezis; RD, retrograt dolgu; KP-R, kök perforasyonu- rezorbsiyonu tamir materyali; AF, apeksifikasyon

Diğer yandan, push-out bağlanma dayanımları açısından Bioaggregate'ın bir başka kalsiyum silikat içerikli materyal olan Biodentine (Septodont, Saint Maur-des-Fosses, Fransa) ve MTA'dan daha düşük performans gösterdiği belirtilen çalışmalar yanında MTA ile aralarında herhangi bir farkın olmadığını gösteren çalışmalar da mevcuttur.⁹⁻¹¹ MTA ile kıyaslandığında Bioaggregate'ın push-out bağlanma dayanımı, düşük pH ve termal siklus uygulamalarından etkilenmemiştir.⁹

Bioaggregate'ın biyolojik özellikleri. MTA'ya nazaran materyalin daha biyouyumlu olduğu ve sitotoksitesinin daha düşük olduğu gösterilmiştir.⁶ Materyalin osteoklast formasyonunu inhibe ederek kemik rezorpsiyonunu önleyen mekanizmada rol aldığı gösterilmiştir.^{12,13} Buna ilaveten, materyalin *Enterococcus faecalis* ve *Candida albicans* türleri üzerinde sırasıyla güçlü antibakteriyel ve antifungal özelliklerinin yanı sıra sert doku oluşumu üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir.¹⁴

Biodentine

Trikalsiyum silikat içerikli simanların gözde bir temsilcisi olan Biodentine (Septodont, Saint Maur-des-Fosses, Fransa) dentine eşdeğer özellikte bir materyal olarak görülmektedir. Toz halindeki formunda trikal-siyum silikat, dikalsiyum silikat, kalsiyum karbonat, demir oksit ve zirkonyum oksit gibi doldurucular bulun-maktadır. Likit formunda ise reaksiyonu hızlandırıcı özellikte kalsiyum klorid ve su dengesini sağlamak amacıyla suda çözünen bir polimer içermektedir. Toz ve suyun karışmasının ardından 9-12 dakika arasında hızlı sertleşebilme özelliği ile diğer kalsiyum silikat içerikli biyomateryaller arasında dikkati çekmektedir. Biodentine diğer kalsiyum silikat içerikli materyaller gibi kalsiyum salabilen ve sentetik doku sıvıları ile temas etmesi sonucunda hidroksiapatit oluşumuna hizmet eden bir materyal olarak tanımlanmıştır.¹⁵

Biodentine'in fiziksel özellikleri. Biodentine'in likit formunun içerisinde bulunan polimerin ve daha düşük toz/likit oranı ile karıştırılmasının bir avantaj teşkil ettiği ve bu durumun materyalin baskı kuvvetlerine karşı dayanımını ve yüzey sertliğini MTA ve Bioaggregate ile kıyasla artırdığı belirtilmiştir.^{7,16} Materyalin 37°C'de 28 gün boyunca nemli bir ortamda bekletilmesi sonucunda baskı kuvvetlerine karşı dayanımının ve yüzey sertliğinin sırasıyla 67,2 MPa ve 48,4 HV olduğu rapor edilmiştir.⁷ Diğer bir çalışmada ise nemli ortamda 1 günlük bekletme sonucunda materyalin baskı kuvvetlerine karşı dayanımının 78,5 MPa, yüzey sertliğinin ise 45,4 HV olduğu ifade edilmiştir.¹⁶ Sonuçlar arasındaki farklılığın farklı test metodlarına ve nemli ortamda farklı bekletme sürelerinden ileri geldiği düşünülmektedir.⁸

Biodentine'in MTA'ya göre daha yoğun ve daha az poröz yapısı ile uyumlu olarak, eğilme dayanımı, elastisite modülünün MTA'dan daha yüksek olduğu bulunurken, dentin ile benzer olduğu tespit edilmiştir.¹⁷ Dişi renklendirme potansiyelinin araştırıldığı bir başka çalışmada ise, çekilmiş sıgır dişlerine yerleştirilen Biodentine'in, 1 yıllık takip sonucunda Bioaggregate ve Angelus MTA'a (Angelus Industria de Produtos Odontologicos, Londrino, Brezilya) göre en düşük renklendirme potansiyeline sahip materyal olduğu tespit edilmiştir.¹⁸

Biodentine'in sızdırmazlık ve bağlanma dayanımı özellikleri. Materyalin push-out bağlanma dayanımının ve yüzeysel mikrosertliğinin incelendiği bir çalışmada, Biodentine'in MTA ile beraber Bioaggregate'a nazaran daha üstün bağlanma dayanımı ve mikrosertlik göstermiştir.¹⁹

Bununla beraber, Biodentine'in sızdırmazlık özelliği ile ilgili tartışmalı sonuçları rapor eden çalışmalar da

mevcuttur. Asit ile pürüzlendirilen ve pürüzlendiril-meyen Biodentine'in aynı işlemlere tabi tutulan cam iyonomer simana göre istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha çok sızıntı gösterdiği rapor edilmiştir.²⁰

Biodentine'in biyolojik özellikleri. Biodentine'in yüksek düzeyde biyoyoumlu ve non-sitotoksik olduğu belirtilmiştir.⁶ Tüm kalsiyum silikat içerikli biyomateryallerin kalsiyum iyonunu açığa çıkartarak sert doku oluşumuna katkıda bulunduğu bilinmektedir. Bu bağlamda, Biodentine'in açığa çıkardığı ve dentinin derinlerinde tespit edilen kalsiyum iyonu miktarının MTA'a göre daha çok olduğu tespit edilmiştir.²¹

Bununla beraber, Biodentine, Bioaggregate ve MTA'nın dental pulpa hücrelerinde oluşturdukları profilerasyon, anjiyogenezis ve biyomineralizasyon nedeniyle osteojenik ve odontojenik kapasitelerinin benzer olduğu ifade edilmiştir.²² Fare dişlerinde pulpa kaplama materyali olarak kullanılan Biodentine, Bioaggregate ve MTA'nın aralarında dentin köprüsü oluşumu açısından bir farkın olmaması nedeniyle hem Biodentine'nin hem de Bioaggregate'ın MTA'a alternatif materyaller olarak kullanılabilceği belirtilmiştir.²³

Endosequence Kök Tamir Materyali

Endosequence kök tamir materyali (EKTM) (Brass-ler USA, Savannah, GA, Amerika Birleşik Devletleri) önceden karıştırılmış ve kullanıma hazır enjekte edilebilir veya kompakte edilebilir macun formlarında bulunmaktadır. İçeriğinde kalsiyum silikat, monokal-siyum fosfat, tantalyum oksit ve zirkonyum oksit yer almaktadır. Monokalsiyum fosfat içeriği hidroksiapatit oluşumunda görev alırken, tantalyum oksit ve zirkonyum oksit içerikleri radyoopasiteden sorumludur. Materyalin sertleşme mekanizmasında, dentin tübüllerinde yer alan sıvının katkıda bulunduğu ifade edilmekte, sertleşme zamanının ise 2-4 saat arasında olduğu belirtilmektedir.²⁴

Endosequence kök tamir materyalinin fiziksel özellikleri.

Ortamdaki nem oranının artması ile birlikte EKTM'nin sertleşme zamanının uzadığı ve mikrosertliğinin azaldığı, 37°C'de %100 nemli ortamda sertleşme zamanının 168 saat kadar sürdüğü rapor edilmiştir.²⁵ Üretici firma tarafından baskı kuvvetlerine karşı dayanımının 70-90 MPa olduğu belirtilse de yapılan karşılaştırmalı bir çalışmada materyalin dayanımının 40-50 MPa olduğu ve bu değer MTA'nın sağladığı dayanım değeri ile benzer olduğu ifade edilmiştir.²⁶ Materyalin yüzey sertliği deneysel olarak oluşturulan apeksifikasyon modelinde Biodentine ile benzer olduğu, MTA'tan ise daha düşük olduğu belirtilmiştir.²⁷

Endosequence kök tamir materyalinin sızdırmazlık ve bağlanma dayanımı özellikleri.

EKTM'nin içinde bulunan nano-partiküller materyalin dentin tübüllerine olan penetrasyonunu kolaylaştırdığı, bununla beraber dentin tübülleri içerisinde bulunan nem varlığı sayesinde materyalin dentin ile mekanik bir şekilde bağlandığı ve büzülme potansiyelinin azalarak stabilitesinin korunduğu öngörülmektedir.²⁸ *In vitro* olarak gerçekleştirilen bir çalışmada, retrograd dolgu materyali olarak kullanılan EKTM marjinal adaptasyon ve sızdırmazlık anlamında MTA ile benzer özellikler göstermiştir.²⁹

Fizyolojik salin solüsyonu ile muamele edilen EKTM'nin hidroksiapatit benzeri çökeltiler oluşturduğu, pH'ının ve sert doku oluşumuyla ilişkili olarak açığa çıkardığı kalsiyum iyonu oranının MTA ile benzerlikler gösterdiği bulunmuştur.²⁴ Aynı şekilde, materyalin push-out bağlanma dayanımının da MTA ile benzer olduğu gösterilmiştir.³⁰

Endosequence kök tamir materyalinin biyolojik özellikleri.

EKTM'nin ekstresi elde edilerek insan gingival fibroblast hücreleri, fare fibroblast hücreleri, insan dermal fibroblast hücreleri, periodontal ligament fibroblast hücreleri ve osteoblast hücreleri üzerinde yapılan sitotoksisite çalışmalarında, materyalin MTA ile benzer düzeyde biyoyumluluk özelliği olduğu belirtilmiştir.²⁵ EKTM'nin *Enterococcus faecalis* üzerindeki antibakteriyel etkisinin MTA ile benzer olduğu, bu etkinin de materyalin sertleşmesi esnasında yüksek pH'ı nedeniyle olduğu öne sürülmektedir.³¹

Kalsiyumdan Zenginleştirilmiş Siman

Kalsiyum iyonu içeriği açısından zenginleştirilmiş olan siman (KZS) (BioniqueDent, Tehran, Iran) MTA ile benzer uygulamalarda kullanılmak üzere piyasaya tanıtılan materyal farklı kimyasal içeriğiyle dikkati çekmektedir. İçeriğinde kalsiyum oksit, sülfür trioksit, fosfor pentoksit, silikon dioksit, alüminyum trioksit, sodyum oksit, magnezyum oksit ve klorit bulunmaktadır.³² Materyalin sertleşmesinden sonra kalsiyum ve fosfattan zengin bileşikler ve kalsiyum hidroksit oluşur. Materyalin içeriğinde yer alan kalsiyum klorit içeriği sayesinde sertleşme zamanı düşürülmüştür. Ortalama 50 dakikalık sertleşme zamanıyla MTA'dan daha kısa bir sürede sertleştiği ifade edilmiştir.³²

Kalsiyumdan zenginleştirilmiş simanın fiziksel özellikleri.

Materyalin çalışma zamanı, pH, boyutsal değişimi açısından özelliklerinin MTA ile benzer olduğu belirlenmiştir.³² Bununla beraber materyalin MTA'a göre daha fazla akıcılık özelliği bulunurken, film tabakasının MTA'a göre daha ince olduğu tespit

edilmiştir.³² Baskı kuvvetlerine karşı dayanımı Angelus MTA'a göre benzer bulunurken, ProRoot MTA ve Biodentine'e göre daha düşük olmuştur.³³

Kalsiyumdan zenginleştirilmiş simanın sızdırmazlık ve bağlanma dayanımı özellikleri.

Materyalin sızdırmazlık özelliğinin MTA'dan farklı bir mekanizmayla gerçekleştirmesine rağmen MTA ile benzer olduğu tespit edilmiştir. KZS sertleşme reaksiyonu sonucunda kalsiyum, fosfat ve hidroksil iyonlarını açığa çıkartarak hidroksiapatit benzeri çökelti oluşumuna hizmet eder.³⁴ Materyalin push-out bağlanma dayanımının MTA'tan daha düşük olduğu belirtilmiştir.³⁵

Kalsiyumdan zenginleştirilmiş simanın biyolojik özellikleri.

Materyalin sitotoksisitesinin, osteoblastik/odontoblastik farklılaşma ve sement birikimi üzerindeki etkilerinin MTA ile benzer olduğu sonucuna varılmış.³⁶ KZS'nin biyoyumluluk üzerindeki olumlu etkisi ve osteojenik potansiyeli, materyalin etken iyonları açığa çıkarabilme kapasitesinden ileri geldiği düşünülmektedir.³⁷

Materyalin *Enterococcus faecalis* üzerindeki antibakteriyel etkisinin kalsiyum hidroksit patı ile benzer olduğu, bununla beraber MTA'tan ise daha üstün olduğu ve bu etkinin sebebinin de materyalin içeriğinde MTA'tan daha fazla bakteriyel inhibitörlerin olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.³⁸ Materyalin antifungal etkisinin ise MTA ile aynı olduğu gösterilmiştir.³⁹

Theracal

Materyalin esası rezinle modifiye edilmiş kalsiyum silikat olup, ışıkla sertleşebilmektedir. Diğer kalsiyum silikat içerikli materyallerde olduğu gibi TheraCal (Bisco Inc., Schaumburg, IL, ABD) de apatit benzeri bileşik ve dentin köprüsü oluşturabilmektedir. İçeriğinde Tip 3 Portland çimentosu, strontium camı, silika, baryum sülfat, baryum zirkonat, rezin içerikli Bis-GMA ve PEGDMA içerir.⁴⁰ Kullanıma hazır enjektörler içerisinde bulunur ve operasyon sahasına birer mm kalınlıkta doğrudan enjekte edilerek kullanılır. Materyal 20 saniye süreyle ışınlanarak polimerize olur.

TheraCal'in fiziksel özellikleri. Materyalin Pro-Root MTA, Angelus MTA ve Biodentine'e nazaran daha az çözünür olduğu gösterilmiştir.^{40,41} Su absorbe etme kapasitesini ve porozitesini araştıran bir çalışmada TheraCal, ProRoot MTA ve Biodentine ile benzer özellikler gösterirken, Angelus MTA'den daha düşük değerler göstermiştir.⁴¹

TheraCal'in sızdırmazlık ve bağlanma daya-

nımı özellikleri. Materyalin sızdırmazlık özelliğinin çok iyi olduğu sonucuna varılmıştır.⁴⁰ Bununla beraber, nötral ve asidik ortamlarda materyalin push-out bağlanım dayanımı cam iyonomer simandan düşük iken, Biodentine ve MTA'tan daha yüksek olduğu rapor edilmiştir. Yine aynı çalışmada, materyalin bazik ortamda performansı da incelenmiş ve Biodentine'den daha düşük push-out bağlanma dayanımı gösterdiği, cam iyonomer siman ve MTA'tan ise daha yüksek push-out bağlanma dayanımı gösterdiği ifade edilmiştir.⁴²

Rezin esaslı olan TheraCal'in dentine bağlanabilmesi için dentinin asitle pürüzlendirilmesi ve bonding ile muamele edilmesi gerekmektedir ancak pulpanın üzerindeki olası kimyasal yaralanma ihtimali nedeniyle bu durum direkt pulpa kaplama işleminde bir kontrendikasyon olarak karşımıza çıkmaktadır. Bir diğer dezavantaj ise materyalde meydana gelebilecek polimerizasyon büzülmesi ve bunun sonucu olarak oluşabilecek bağlanmadaki başarısızlıktır.⁴³

TheraCal'in biyolojik özellikleri. Materyalin kalsiyum iyonu salabilme özelliği ve başlangıçtaki yüksek alkalin özellikleri sert doku oluşumunda önemli faktörlerdir. Salınan kalsiyum iyonları materyalin biyoaktivitesini sağlayarak pulpada tamir mekanizmasında rol almaktadır.⁴⁰ Yapılan bir çalışmada, direkt pulpa kaplama materyali olarak TheraCal uygulamasından 28 gün sonra tam bir dentin köprüsünün olduğu, bununla beraber hafif düzeyde iltihap bulgusuna ulaşıldığı rapor edilmiştir.⁴⁴

Yapılan karşılaştırmalı çalışmalarda TheraCal'in hücrelerin profilasyonu açısından aktivitesinin Biodentine ve MTA'tan daha düşük olduğu, *Streptococcus mutans* üzerindeki antibakteriyel aktivitesinin ise MTA'tan daha düşük, Biodentine'den ise daha yüksek olduğu ifade edilmiştir.⁴⁵

MM-MTA

MM-MTA (Micro-Mega, Besançon, Fransa) trikalsiyum silikat içerikli bir biyomateryal olup kapsül formu içinde kullanıma hazır bir şekilde sunulmuştur. Mekanik bir şekilde karıştırıldıktan sonra materyal aktive olmakta ve operasyon sahasına uygulanmaktadır. İçeriğinde trikalsiyum silikat, bizmut oksit, kalsiyum karbonat ve klorin bulunmaktadır. Kalsiyum karbonat içeriğinin materyalin sertleşme zamanını kısaltarak, mekanik özelliklerini geliştirdiği ifade edilmektedir.⁴⁶

MM-MTA'nın fiziksel özellikleri. Yapılan karşılaştırmalı bir çalışmada materyalin sertleşme zamanının (132 dakika) Angelus MTA'a yakın (112 dakika), ProRoot MTA'tan (367 dakika) daha kısa olduğu belirtilmiştir. İlave olarak materyalin porözitesinin ve radyo-opasitesinin Angelus MTA ve MTA'dan anlamlı olarak daha düşük olduğu gösterilmiştir.⁴⁶ Sertleşme mekanizmalarının karşılaştırıldığı bir diğer çalışmada, 8 × 108 Pa değerindeki elastik modulusa MM-MTA 150 dakikada ulaşırken, Biodentine 12 dakikada, Angelus MTA 230 dakikada, ProRoot MTA ise 320 dakikada ulaşmıştır.⁴⁷

MM-MTA'nın sızdırmazlık ve bağlanma dayanımı özellikleri. Boya sızıntısı metodu kullanılarak furkal perforasyon modeli oluşturulan çalışmada, tamir materyali olarak kullanılan MM-MTA, Biodentine'e göre daha az boya sızıntısı gösterirken, Endosequence'e göre daha fazla boya sızıntısı göstermiştir.⁴⁸

Farklı irrigasyon rejimlerinin kullanıldığı ve push-out bağlanma dayanımlarının karşılaştırıldığı bir diğer çalışmada, MM-MTA, Bioaggregate ve Angelus MTA arasında bir fark bulunamamıştır.¹¹

MM-MTA'nın biyolojik özellikleri. İnsana ait kemik iliğinden elde edilen kök hücreleri üzerinde yapılan bir çalışmada, MM-MTA, ProRoot MTA ve Biodentine'in sitotoksik özellik taşımadıkları, ProRoot MTA'nın diğer iki materyalden daha fazla olmak üzere üç materyalin de osteoindüktif özellik gösterdiği bulunmuştur.⁴⁹ Sıçanlarda subkütanöz implantasyonları gerçekleştirilen MM-MTA, Biodentine ve Bioaggregate'ın farklı elementleri açığa çıkarma özelliklerinin incelendiği çalışmada, her üç materyalin de toksik olmayan düzeyde salınım yaptığı gösterilmiştir.⁵⁰

SONUÇ

MTA materyali ile ilgili kısıtlamaları aşmak adına hali hazırda birçok biyoseramik içerikli materyal tanıtılmıştır ve gelecekte de benzer materyaller geliştirilecektir. Tanıtılan biyomateryallerin hemen hemen hepsinin biyolojik özellikleri benzerdir ancak bir biyomateryalin klinik şartlarında kabul görmesi için hala ileri düzeyde, detaylı klinik çalışmalara ihtiyaç vardır.

Kaynaklar

1. Vallet-Regi M. Evolution of bioceramics within the field of biomaterials. *Comp R Chimie*. 2010;13:174-85.
2. Swarup S, Rao A. *Bioceramics in Pediatric Endodontics*. 1st ed. Trivandrum: Lambert Academic Publishing; 2013. P. 53-68.
3. Parirokh M, Torabinejad M. Mineral trioxide aggregate: A comprehensive literature review-part III: Clinical applications, drawbacks, and mechanism of action. *J Endod*. 2010;36:400-13.
4. Bioaggregate internet ürün sayfası. <http://bioaggregate.com/product> (Erişim tarihi 02. 2017).
5. Madfa AA, Al-Sanabani FA, Al-Qudami Al-Kudami NH. Endodontic repair filling materials: A review article. *Br J Med Med Res*. 2014;4:3059-79.
6. Jang YE, Lee BN, Koh JT, Park YJ, Joo NE, Chang HS, Hwang IN, Oh WM, Hwang YC. Cytotoxicity and physical properties of tricalcium silicate-based endodontic materials. *Restor Dent Endod*. 2014;39:89-94.
7. Grech L, Mallia B, Camilleri J. Investigation of the physical properties of tricalcium silicate cement-based root-end filling materials. *Dent Mater*. 2013;29:e20-8.
8. Dawood AE, Parashos P, Wong RHK, Reynolds EC, Manton DJ. Calcium silicate-based cements: Composition, properties, and clinical applications. *J Investig Clin Dent*. 2017; 8, e12195.
9. Hashem AA, Wanees Amin SA. The effect of acidity on dislodgment resistance of mineral trioxide aggregate and bioaggregate in furcation perforations: an in vitro comparative study. *J Endod*. 2012;38:245-9.
10. Ulusoy ÖI, Paltun YN, Güven N, Çelik B. Dislodgement resistance of calcium silicate-based materials from root canals with varying thickness of dentine. *Int Endod J*. 2016;49:1188-93.
11. Celik D, Er K, Serper A, Taşdemir T, Ceyhanlı KT. Push-out bond strength of three calcium silicate cements to root canal dentine after two different irrigation regimes. *Clin Oral Investig*. 2014;18:1141-6.
12. Tian J, Qi W, Zhang Y, Glogauer M, Wang Y, Lai Z, Jiang H. Bioaggregate inhibits osteoclast differentiation, fusion, and bone resorption in vitro. *J Endod*. 2015;41:1500-6.
13. Zhang J, Zhu L, Yan P, Peng B. Effect of BioAggregate on receptor activator of nuclear factor-kappa b ligand-induced osteoclastogenesis from murine macrophage cell line in vitro. *J Endod*. 2015;41:1265-71.
14. Zhang H, Pappen FG, Haapasalo M. Dentine enhances the antibacterial effect of mineral trioxide aggregate and bioaggregate. *J Endod*. 2009;35:221-4.
15. Biodentine internet ürün sayfası. <http://www.septodontusa.com/products/biodentine> (Erişim tarihi 02. 2017).
16. Dawood AE, Manton DJ, Parashos P, Wong R, Palamara J, Stanton DP, Reynolds EC. The physical properties and ion release of CPP-ACP-modified calcium silicate-based cements. *Aust Dent J*. 2015;60:434-44.
17. Camilleri J, Sorrentino F, Damidot D. Investigation of the hydration and bioactivity of radiopacified tricalcium silicate cement, Biodentine and MTA Angelus. *Dent Mater*. 2013;29:580-93.
18. 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;42:1815-18.
19. Majeed A, AlShwaimi E. Push-out bond strength and surface microhardness of calcium silicate-based biomaterials: An in vitro study. *Med Princ Pract*. 2017;26:139-45.
20. Camilleri J. Investigation of Biodentine as dentine replacement material. *J Dent*. 2013;41:600-10.
21. Gandolfi MG, Siboni F, Polimeni A, Bossu M, Riccitiello F, Rengo S, Prati C. In vitro screening of the apatite-forming ability, biointeractivity and physical properties of a tricalcium silicate material for endodontics and restorative dentistry. *Dent J*. 2013;1:41-60.

22. Rathinam E, Rajasekharan S, Chitturi RT, Martens L, De Coster P. Gene expression profiling and molecular signaling of dental pulp cells in response to tricalcium silicate cements: A systematic review. *J Endod.* 2015;41:1805-17.
23. 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;41:29-36.
24. Candeiro GT, Correia FC, Duarte MA, Ribeiro-Siqueira DC, Gavini G. Evaluation of radiopacity, pH, release of calcium ions, and flow of a bioceramic root canal sealer. *J Endod.* 2012;38:842-5.
25. Damas BA, Wheeler MA, Bringas JS, Hoen MM. Cytotoxicity comparison of mineral trioxide aggregates and EndoSequence bioceramic root repair materials. *J Endod.* 2011;37:372-5.
26. Walsh RM, Woodmansey KF, Glickman GN, He J. Evaluation of compressive strength of hydraulic silicate-based root-end filling materials. *J Endod.* 2014;40:969-72.
27. 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;40:986-9.
28. Zhou HM, Shen Y, Zheng W, Li L, Zheng YF, Haapasalo M. Physical properties of 5 root canal sealers. *J Endod.* 2013;39:1281-6.
29. Nair U, Ghattas S, Saber M, Natera M, Walker C, Pileggi R. A comparative evaluation of the sealing ability of 2 root-end filling materials: An in vitro leakage study using *Enterococcus faecalis*. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2011;112:e74-7.
30. Shokouhinejad N, Gorjestani H, Nasseh AA, Hoseini A, Mohammadi M, Shamshiri AR. Push-out bond strength of gutta-percha with a new bioceramic sealer in the presence or absence of smear layer. *Aust Endod J.* 2013;39:102-6.
31. Lovato KF, Sedgley CM. Antibacterial activity of endosequence root repair material and proroot MTA against clinical isolates of *Enterococcus faecalis*. *J Endod.* 2011;37:1542-6.
32. Asgary S, Shahabi S, Jafarzadeh T, Amini S, Kheirieh S. The properties of a new endodontic material. *J Endod.* 2008;34:990-3.
33. Kayahan MB, Nekoofar MH, McCann A, Sunay H, Kaptan RF, Meraji N, Dummer PM. Effect of acid etching procedures on the compressive strength of 4 calcium silicate-based endodontic cements. *J Endod.* 2013;39:1646-8.
34. Asgary S, Eghbal MJ, Parirokh M, Ghodduzi J. Effect of two storage solutions on surface topography of two root-end fillings. *Aust Endod J.* 2009;35:147-52.
35. Adl A, Sobhnamayan F, Kazemi O. Comparison of push-out bond strength of mineral trioxide aggregate and calcium enriched mixture cement as root end filling materials. *Dent Res J (Isfahan).* 2014;11:564-7.
36. Asgary S, Nazarian H, Khojasteh A, Shokouhinejad N. Gene expression and cytokine release during odontogenic differentiation of human dental pulp stem cells induced by 2 endodontic biomaterials. *J Endod.* 2014;40:387-92.
37. Amini Ghazvini S, Abdo Tabrizi M, Kobarfard F, Akbarzadeh Baghban A, Asgary S. Ion release and pH of a new endodontic cement, MTA and Portland cement. *Iran Endod J.* 2009;4:74-8.
38. Hasan Zarrabi M, Javidi M, Naderinasab M, Gharechahi M. Comparative evaluation of antimicrobial activity of three cements: New endodontic cement (NEC), mineral trioxide aggregate (MTA) and Portland. *J Oral Sci.* 2009;51:437-42.
39. Kangarlou A, Sofiabadi S, Yadegari Z, Asgary S. Antifungal effect of calcium enriched mixture cement against *Candida albicans*. *Iran Endod J.* 2009;4:101-5.
40. Gandolfi MG, Siboni F, Prati C. Chemical-physical properties of TheraCal, a novel light-curable MTA-like material for pulp capping. *Int Endod J.* 2012;45:571-9.
41. Gandolfi MG, Siboni F, Botero T, Bossu M, Riccitiello F, Prati C. Calcium silicate and calcium hydroxide materials for pulp capping: Biointeractivity, porosity, solubility and bioactivity of current formulations. *J Appl Biomater Funct Mater.* 2015;13:43-60.
42. Makkar S, Vashisht R, Kalsi A, Gupta P. The effect of altered pH on push-out bond strength

- of biodentin, glass ionomer cement, mineral trioxide aggregate and TheraCal. *Serb Dent J.* 2015;62:7-13.
43. Loguercio AD, Reis A, Schroeder M, Balducci I, Versluis A, Ballester RY. Polymerization shrinkage: Effects of boundary conditions and filling technique of resin composite restorations. *J Dent.* 2004;32:459-70.
44. Cannon M, Gerodias N, Viera A, Percinoto C, Jurado R. Primate pulpal healing after exposure and TheraCal application. *J Clin Pediatr Dent.* 2014;38:333-7.
45. Poggio C, Arciola CR, Beltrami R, Monaco A, Dagna A, Lombardini M, Visai L. Cytocompatibility and antibacterial properties of capping materials. *Scientific World J.* 2014; 2014:181945. doi: 10.1155/2014/181945.
46. Khalil I, Naaman A, Camilleri J. Investigation of a novel mechanically mixed mineral trioxide aggregate (MM-MTA™). *Int Endod J.* 2015;48:757-67.
47. Setbon HM, Devaux J, Iserentant A, Leloup G, Leprince JG. Influence of composition on setting kinetics of new injectable and/or fast setting tricalcium silicate cements. *Dent Mater.* 2014;30:1291-303.
48. Jeevani E, Jayaprakash T, Bolla N, Vemuri S, Sunil CR, Kalluru RS. Evaluation of sealing ability of MM-MTA, Endosequence, and Biodentine as furcation repair materials: UV spectrophotometric analysis. *J Conserv Dent.* 2014;17:340-3.
49. Margunato S, Taşlı PN, Aydın S, Karapınar Kazandağ M, Şahin F. In vitro evaluation of ProRoot MTA, Biodentine, and MM-MTA on human alveolar bone marrow stem cells in terms of biocompatibility and mineralization. *J Endod.* 2015;41:1646-52.
50. Simsek N, Bulut ET, Ahmetoğlu F, Alan H. Determination of trace elements in rat organs implanted with endodontic repair materials by ICP-MS. *J Mater Sci Mater Med.* 2016;27:46.

Yazışma Adresi:

Dr. Emel Olga ÖNAY
Başkent Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti AD
82. Sokak No 26, 06490 Bahçelievler/ANKARA
Tel: 0312 203 00 00 • Faks: 0312 215 29 62 • e-posta: eonay@baskent.edu.tr

