



The Journal of Turkish Dental Research Türk Diş Hekimliği Araştırma Dergisi

e-ISSN: 2822-4310 | Yıl / Year: 2025 | Cilt – Volume: 4 | Sayı – Issue: 2

Vital Pulpa Tedavilerinde Biyoseramik Materyallerin Kullanımı: Sistematik Derleme

Use of Bioceramic Materials in Vital Pulp Treatments: A Systematic Review

Vital Pulpa Tedavilerinde Biyoseramiklerin Yeri

Duygu BAL¹, Gül KESKİN²

¹Dt., Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Çocuk Diş Hekimliği Anabilim Dalı / Türkiye
duygu.bal@alanya.edu.tr

ORCID: 0009-0009-1111-5288

²Doç. Dr., Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Çocuk Diş Hekimliği Anabilim Dalı / Türkiye
gul.keskin@alanya.edu.tr

ORCID:0000-0003-4569-7174

Yazar Katkıları: ¹DB makaleyi yazdı. ²GK ve ¹DB makaleyi gözden geçirdi ve iyileştirdi.
Tüm yazarlar makalenin son halini yayımlanmak üzere okuyup onayladı.

Finansman: Herhangi bir destek alınmamıştır.

Çıkar Çatışması: Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Makale Bilgisi / Article Information

Makale Türü / Article Types: Sistematik Derleme / A Systematic Review

Geliş Tarihi / Received: 23-10-2024

Kabul Tarihi / Accepted: 17-04-2025

Sayfa / Pages: 103-117

Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Duygu BAL

DOI: <https://doi.org/10.58711/turkishjdentres.vi.1572541>

Vital Pulpa Tedavilerinde Biyoseramik Materyallerin Kullanımı: Sistematik Derleme

Use of Bioceramic Materials in Vital Pulp Treatments: A Systematic Review

ÖZET

Mükemmel biyoaktivite ve biyouyumluluğa sahip biyoseramikler, diş hekimliği pratiğinde sıklıkla kullanılan materyallerdir. Biyoseramikler; antibakteriyel ve antifungal etkinliğe sahip olmaları, diş yapısı ile kimyasal bağ oluşturarak hermetik bir kapama sağlamaları ve kimyasal olarak stabil olma gibi üstün özellikleri nedeniyle diş pulpasının korunması ve nekroze dişlerin rejeneratif tedavisinde sıklıkla tercih edilen materyallerdir. Modern stratejiler ile biyoseramiklerin temel bileşiminde ortaya çıkan gelişmeler çeşitli biyoseramik preparatların piyasaya sunulmasını sağlamıştır. Bu derleme, farklı biyoseramik materyallerin özelliklerini ve vital pulpa tedavilerinde gösterdikleri klinik ve radyografi başarı oranlarını sunmaktadır. Literatür taraması ile elde edilen sonuçlar, vital pulpa tedavilerinde biyoseramiklerin kullanımını önermektedir.

Anahtar Kelimeler: Mineral Trioksit Agregat; Pulpotomi; Kalsiyum Fosfat; Kalsiyum Silikat

ABSTRACT

Bioceramics with excellent bioactivity and biocompatibility are materials frequently used in dental practice. Due to their superior properties such as possessing antibacterial and antifungal activity, forming a hermetic seal by creating a chemical bond with the tooth structure, and being chemically stable, bioceramics are often preferred in the protection of dental pulp and regenerative treatment of necrotized tooth. Developments in the basic composition of bioceramics through modern strategies have led to the introduction of various bioceramic preparations into the market. This review presents the properties of different bioceramic materials and their clinical and radiographic success rates in vital pulp therapies. The results obtained through a literature review suggest the use of bioceramics in vital pulp treatments.

Keywords: Mineral Trioxide Aggregate; Pulpotomy; Calcium Phosphate; Calcium Silicate

Giriş

Biyoseramikler, hasar görmüş veya yaralanmış vücut organlarını onarmak, yeniden yapılandırmak veya değiştirmek için özel olarak tasarlanmış seramiklerdir. Biyoseramikler; polikristalin seramiklerden, biyoaktif camdan, biyoaktif cam seramiklerinden veya biyoaktif kompozitlerden oluşurlar.¹

Biyoseramikler doku etkileşimlerine göre biyoinert, biyoaktif ve rezorbe olabilenler olmak üzere üç gruba ayrılırlar. Biyoinert seramikler canlı dokuyu değiştirmeden doku ile mekanik bir bağ yaparlar. Biyoaktif seramikler kemikle ya da canlı organizmanın yumuşak dokusu ile kimyasal bağ yapma özelliği gösterirler. Rezorbe olabilenler ise, biyolojik olarak rezorbe olup zamanla doku ile yer değiştirirler.²

Biyoseramikler hidrasyon süreci sırasında hidroksiapatit gibi farklı bileşikler üretir. Hidroksiapatit insan vücudunda rejeneratif yanıtı tetikleme yeteneğine sahiptir. Kemikle temas halinde mineral hidroksiapatit, arayüzde kemik oluşumuna neden olan osteoiletken etki gösterir. Biyoseramiklerin içsel bir osteoindüktif kapasitesi vardır, belirli bir kemik iyileşme süreci yakınında osteoindüktif maddeleri absorbe etme yetenekleri belgelenmiştir.³

Biyoseramikler, biyolojik hidroksiapatit ile benzerlik göstermelerinden kaynaklanan mükemmel bir biyouyum gösterirler. Böylece kök onarımında veya obtürasyon sırasında materyalin taşması iltihabi bir yanıt oluşturmaz. Biyoseramikler, yüksek pH (12,9) değerinden dolayı güçlü bir antibakteriyel özellik sergilerler. Ayrıca 1-3 nm çapında nanokristaller içeren gözenekli yapısı sebebiyle bakteri yapışmasını engelleyen bir yapıya sahiptirler. Diş yapısıyla kimyasal bir bağ oluşturarak mükemmel bir hermetik kapama sağlarlar. Biyolojik ortamda kimyasal olarak stabil olma, büzülmeye karşı dirençli olma ve radyopak olma gibi avantajları da vardır. Biyoseramikler; pulpotomi, direkt pulpa kaplaması, apikal tıkama ve retrograd dolgu gibi tedavilerde gösterdikleri pozitif klinik sonuçlar nedeni ile diş hekimliği pratiğinde birçok kullanım alanı bulmuşlardır.⁴

1. Kalsiyum silikat bazlı biyoseramikler

1.1. Portland Siman

Portland Siman (PS) 1824 yılında Joseph Aspdin tarafından patenti alınan bir üründür.⁵ Temel olarak trikalsiyum ve dikalsiyum silikat ana bileşimine sahiptir. Bizmut

oksit içermez ve yüksek oranda kalsiyum alüminat ile kalsiyum sülfat içerir. Su ile karıştırıldığında sertleşerek güçlü bir yapı oluşturur. Hidrasyon sırasında kalsiyum silikat hidrat jel ve kalsiyum hidroksit (KH) üretir. Uygun maliyetli bir malzemedir. Gri ve beyaz formu mevcuttur. Antibakteriyel ve antifungal özellikler gösterir. Kök ucu dolgu malzemesi olarak iyi bir sızdırmazlık yeteneğine sahiptir. Fibroblastlar açısından PS ile ilişkilendirilen genotoksitesite veya sitotoksitesitenin görülmediği bildirilmiştir.⁶

PS'nin yüksek miktarda kurşun ve arsenik salması ve çözünürlüğünün yüksek olması, uygulandığı bölgede çevresel dokuların sağlığı üzerindeki etkisi ile ilgili soru işaretlerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur.⁷ Yüksek çözünürlük, restorasyonun uzun vadeli sızdırmazlığını tehlikeye atabilir.⁸ PS ile biyomineralizasyon, etkili ve uzun vadeli değildir. Ayrıca PS'nin aşırı genleşmesi, dişte çatlak oluşumuna yol açabilir.⁷ PS'nin uygunluğunu belirlemek için daha fazla numune ve daha uzun süreli takip değerlendirmeleri gerekmektedir.⁹

1.2. MTA

Mineral trioksid agregat (MTA), ilk kez 1993 yılında, Mahmoud Torabinejad tarafından California, ABD'deki Loma Linda Üniversitesi'nde tanıtılan biyoaktif bir materyaldir. MTA; non-toksik, non-kanserojenik, non-genotoksik, biyolojik olarak uyumlu, dokuda çözünmeyen ve boyutsal olarak stabil doğası nedeniyle endodontik prosedürler için geliştirilmiş ve önerilmiştir. MTA; kök kanal dolgusunda, pulpa kaplaması ve pulpotomi gibi vital pulpa tedavilerinde ve kök perforasyonlarının tamirinde kullanılabilir.¹⁰

MTA'nın iyi bir sızdırmazlık yeteneği sergilediği, mükemmel uzun vadeli prognoza ve nispeten kolay manipülasyona sahip olduğu ve aynı zamanda doku rejenerasyonunu desteklediği bildirilmiştir.¹¹ Hem hayvan hem de insan araştırmaları, MTA'nın sinyalleşme moleküllerinin üretimi üzerinde olumlu bir rol oynadığını doğrulamıştır. MTA'nın sahip olduğu alkalın pH, uygulandığı pulpa dokusu üzerinde anti-inflamatuar etki oluşumunu sağlar ve sitokin üretimini modüle eder. Sert doku üreten hücrelerin farklılaşmasını ve göçünü teşvik eder.¹² Böylece MTA yüzeyinde hidroksiapatit (veya karbonatlı apatit) oluşur ve biyolojik bir sızdırmazlık sağlar. Bununla birlikte uzun sertleşme süresi, zorlu uygulama ve yüksek maliyet, potansiyel diş renklenmesi ve bilinen bir çözücünün olma-

ması (yerleştirildikten sonra çıkarılmasının zorluğu) gibi dezavantajları da vardır.^{12,13} MTA'nın limitasyonlarını iyileştirmek için çok sayıda modern kalsiyum silikat bazlı siman geliştirilmiştir. Bunlar arasında ProRoot MTA, MTA Angelus, Biodentine, EndoSequence, NeoMTA ve Neo-Putty yer almaktadır.

ProRoot MTA (Dentsply Dental, USA), 1999 yılında geliştirilmiştir ve trikalsiyum silikat, dikalsiyum silikat, bizmut oksit, trikalsiyum alüminat, tetrakalsiyum alüminoferrit, magnezyum oksit ve kalsiyum sülfat içerir.¹⁴ Biyouyumludur, aynı zamanda antimikrobiyal aktivite ve mineralizasyon indükleyici özellikler sergiler. Ancak diş renklenmesine neden olabilir, uzun bir sertleşme süresine ve zayıf işleme özelliklerine sahiptir.

MTA Angelus (Angelus Dental Solutions, Brazil), 2001 yılında geliştirilmiştir ve ProRoot MTA ile benzer bir bileşime sahiptir, ancak sertleşme süresini azaltmak için yapısından kalsiyum sülfat çıkarılmıştır. Ayrıca, ProRoot MTA'ya kıyasla daha az bizmut oksit içerir, bu nedenle ProRoot MTA'dan daha az radyopaktır. Daha az bizmut oksit içermesine rağmen, diş renklenmesine neden olabileceği bildirilmiştir.¹⁴

OrthoMTA (BioMTA, Seoul, Republic of Korea), kolay uygulanabilir olması, dentin tübüllerini iyi örtmesi, ve düşük ekspansiyon göstermesi gibi olumlu özelliklere sahiptir.¹⁵ %76,3 trikalsiyum silikat, %11,8 dikalsiyum silikat, %8 trikalsiyum alüminat, %0,8 oranında tetrakalsiyum alüminoferrit ve %0,7 oranında serbest kalsiyum oksit içerir. OrthoMTA'nın alkalik fosfataz aktivitesini, hücre proliferasyonunu, mineralize doku oluşumunu ve odontoblastik belirleyici genlerin ekspresyonunu desteklediği gösterilmiştir.¹⁶

NeoMTA (NuSmile, Houston, TX, ABD), toz-sıvı formda bir materyaldir. Tozu; trikalsiyum silikat, bizmut oksit, trikalsiyum alüminat, kalsiyum sülfat ve Paris alçısı içerir. Sıvısı ise kalınlaştırıcı ajanlar ve suda çözünür polimerler içeren su bazlı bir jelden oluşur. NeoMTA, dişte renk değişikliğine sebep olmaz, suya dayanıklıdır ve hızlı sertleşme süresine sahiptir.¹⁷

NeoMTA 2 (Avalon Biomed, Houston TX, USA), daha fazla iyon salınımı ve daha fazla su emme kapasitesine sahip, yakın zamanda ticarileştirilmiş trikalsiyum silikat bazlı bir simandır. Yapısında renklenme yapmayan radyopak madde olan tantalum oksit vardır. NeoPutty, Neo-

MTA 2 ile benzer bileşenlere sahip, önceden karıştırılmış, kullanımı kolay bir puttydir. Sertleşme süresi uzundur ve açıldıktan sonra raf ömrü kısadır.¹⁸

Kalsiyum silikat esaslı dolgu maddelerinden biri olan NeoMTA Plus (Avalon Biomed Inc. Bradenton, FL, USA), dişte oluşabilecek renk değişikliklerini önlemek için tantalum oksit ve son derece ince bir trikalsiyum silikat, ve dikalsiyum silikat tozu içeren toz- jel tipinde bir dolgu maddesidir. NeoMTA Plus, çamur benzeri bir kıvama sahip olan ProRoot MTA'ya kıyasla, yönetilebilirliği arttıran bir putty formuna dönüştürülebilir. Yapılan çalışmalarda, NeoMTA Plus'ın stabil renk değişimi ve biyoaktivite özelliklerine sahip olduğu ve ProRoot MTA'ya uygun bir alternatif olabileceği bildirilmiştir.¹⁹

Son zamanlarda, puzolan bazlı bir MTA türevi olarak Endocem MTA (Maruchi, Wonju-si, Kore) piyasaya sürülmüştür. Endocem MTA'nın sertleşme süresi kısadır ve MTA ile karşılaştırılabilir fiziksel ve biyolojik özelliklere sahiptir. Ek olarak, MTA'nın orijinal formuna göre daha az renklendirme potansiyeli ve daha yüksek yıkanma direnci sağlar.²⁰

1.3. Soğuk seramik

Soğuk seramik ilk kez 2000 yılında İran Yazd Üniversitesi'nden Modaresi tarafından tanıtılmıştır. Bileşenlerinin %93'ünü kalsiyum oksit, silikon oksit, baryum oksit ve kükürt trioksit oluşturur. Diğer bileşenler arasında magnezyum oksit, mangan oksit, demir oksit, sodyum oksit, potasyum oksit ve titanyum dioksit bulunmaktadır.²¹

Modaresi ve arkadaşları, soğuk seramik ve cam iyonomerin sızdırmazlık yeteneklerini bir elektrokimyasal test kullanarak karşılaştırmış ve soğuk seramiğin cam iyonomerden çok daha yüksek sızdırmazlık yeteneği gösterdiğini bildirmiştir.²¹ Ayrıca başka bir çalışmada kan kontaminasyonunda soğuk seramiğin sızdırmazlık yeteneğinin MTA'ya kıyasla üstün olduğu; ancak, kuru veya tükürük içeren ortamlarda iki malzeme arasında fark olmadığı bildirilmiştir.²¹

1.4. Biodentine

Biodentine (Septodont, Saint Maur des Fosses, Fransa), 2009 yılında ticari olarak kullanıma sunulan kalsiyum silikat esaslı bir üründür. Biodentine, odontoblastları uyarak osteodentin oluşumunu tetikler ve pulpal hücrelerden TGF-β1 salınımını artırarak erken mineralizasyonu sağlar. Simanın sertleşme sürecinde, kalsiyum hidroksit

oluşur. Oluşan kalsiyum hidroksit, yüksek pH'si nedeniyle temas ettiği noktada koagülasyon nekrozu oluşturur. Bu koagülasyon nekrozu bölgesinin, öncül hücrelerin bölünmesini uyararak substrat yüzeyine göç etmesini sağladığı ve odontoblast benzeri hücrelerde sitodifferansiyasyonu tetiklediği öne sürülmüştür. Sonuç olarak Biodentine, odontoblast uyarımı ile reaksiyoner dentin birikimini ve hücre diferansiyasyonu ile reparatif dentini teşvik eder. Yüksek alkalinitesi nedeniyle mikroorganizmalar üzerinde inhibe edici etkiye sahip olduğu da bildirilmiştir.²²

Biodentine MTA'ya benzer şekilde biyouyumluluk, sızdırmazlık, çözünürlük ve kırılma direnci gösterir. Ancak daha küçük ve homojen partikül boyutuna sahip olması ve daha kısa sürede sertleşmesi gibi özellikleri ile MTA'dan üstündür.²³ Biodentine, klinik kullanım için uygun işlem kolaylığına sahiptir ve iki aşamalı bir restorasyon prosedürü gerektirmez. Biodentine, MTA'dan daha fazla bağlanma dayanımına sahiptir. MTA uygulamalarında, kan kontaminasyonu karıştırma süresinden bağımsız olarak bağlanmayı olumsuz etkiler. Ancak Biodentine uygulamalarında, kan kontaminasyonunun sertleşme süresinden bağımsız olarak, push out bağ dayanımı üzerinde herhangi bir olumsuz etkisinin olmadığı bildirilmiştir.²² Biodentine'in önemli bir diğer avantajı ise dişlerde daha az renk değişikliğine neden olmasıdır. Ayrıca yüksek sertlik, eğilme mukavemeti ve elastisite modülü sergilediği de bildirilmiştir. Biodentine'in diğer kalsiyum silikat bazlı malzemelere göre dezavantajı ise düşük radyoopasite göstermesidir.²⁴

1.5. TheraCal

TheraCal (Bisco, Schaumburg, IL, ABD) kalsiyum silikata ek olarak rezin monomerleri içeren bir pulpa kaside materyali olarak tanıtılmıştır. Işıklı kısa sürede sertleşmesi, düşük çözünürlük ve yüksek mekanik dayanım sergilemesi, kullanım kolaylığı gibi avantajları vardır.²⁵ Yüksek oranda kalsiyum açığa çıkarır. Salınan kalsiyum iyonları pulpadaki odontoblastları indükleyerek ve sert doku oluşumunu uyararak proliferasyonu ve farklılaşmayı indükler. Ancak Jeanneau ve arkadaşları, rezin içeren TheraCal'in pulpal hücreler için toksik olabileceğini, bu nedenle pulpa kaplaması için uygun bir malzeme olmaya bileceğini, belirtmişlerdir.²⁶

TheraCal LC; stronsiyum cam, tip III Portland simanı, silika, baryum sülfat (BaSO₄), baryum zirkonat (BaZrO₃) ve rezinden (Bis-GMA ve PEGDMA) oluşur.

TheraCal PT; parsiyel ya da total amputasyon tedavilerinde kullanılmak üzere üretilen biyouyumlu, hem kimyasal hem de ışıklı sertleşen (dual-cure) rezin modifiye kalsiyum silikat ajan olarak tanıtılmıştır. Pulpa dokusu için bir bariyer ve koruyucu görevi görerek dişin canlılığını korur. İçeriğinde baz olarak silikat cam karışımı, BisGMA, polietilen glikol dimetakrilat, baryum zirkonat; katalizör olarak iterbiyum florür ve baryum zirkonat bulunmaktadır.²⁷

2. Kalsiyum fosfat esaslı biyoseramikler

Kalsiyum fosfat bazlı biyoseramik simanlar, diş hekimliği ve ortopedik uygulamalarda yaygın olarak kullanılan biyomalzemelerdir. Bu simanlar, kemik dokusunun doğal mineral bileşimine benzer kimyasal özelliklere sahiptir ve bu nedenle biyouyumlu ve biyorezorbe edilebilirler.²⁸ Kalsiyum fosfat malzemeler, kemik büyümesini yönlendiren proteinlerin adsorpsiyonu ile tetiklendiği düşünülen, kemikle kimyasal bağlanma gösterirler.¹ Bu nedenle, biyokimyasal olarak yönlendirilen güçlü bir bağlanma osteogenezi meydana gelir.²⁹

İlk kalsiyum fosfat malzemeler 1920'lerde kemik grefti olarak kullanılmıştır. 1971'de Monroe ve meslektaşları, esas olarak mineral kalsiyum-florapatit içeren bir kalsiyum fosfatın hazırlanması için bir yöntem rapor etmiş ve bu apatit seramiğinin dental ve tıbbi implant malzemeleri için olası kullanımını önermişlerdir. İlk dental uygulama, Nery ve arkadaşları tarafından, sinterlenmiş "trikalsiyum fosfat reaktif" kullanılarak elde edilen sentetik gözenekli bir malzeme kullanılarak bildirilmiştir ve bu malzeme "trikalsiyum fosfat" olarak tanımlanmıştır.³⁰

Kalsiyum fosfatlar, biyoaktif sentetik malzemeler grubuna aittir ve en sık kullanılanları hidroksiapatit ve trikalsiyum fosfattır. Trikalsiyum fosfatın (TCP) yüksek oranda biyorozyona uğrama riski vardır ve periodontal rejenerasyonu indüklemeye kapasitesine sahip değildir. Hidroksiapatit ise periodontal defektlerde en kapsamlı şekilde araştırılmış malzemedir. Sentetik hidroksiapatit biyouyumlu, toksik olmayan, yavaş rezorbe olan, osteokondüktif, osteofilik bir malzemedir ve kemik minerali ile yapısal ve kimyasal olarak benzerlik gösterir.³¹

Biyoaktif cam, kalsiyum sodyum fosfosilikattan oluşur ve karbonatlı hidroksiapatit yüzey tabakası ile canlı sert dokularla kimyasal bir bağ geliştirebilir.¹ Doku sıvısına maruz kaldığında, silika açısından zengin bir jel ile kaplanır ve bunun üstünde kalsiyum fosfat açısından zengin bir

tabaka oluşur, bu da osteoblast hücrelerinin emilimini ve yoğunlaşmasını teşvik eder, böylece ekstraselüler matriks ve mineralizasyon oluşumu sağlanır.³²

3. Kalsiyum silikat ve kalsiyum fosfatların

karışımı

3.1. Bioaggregate

BioAggregate (Verio Dental Co. Ltd., Vancouver, Kanada), ilk nano partikül boyutlu biyoseramiktir. Tri-kalsiyum silikat, tantalum oksit, kalsiyum fosfat ve silikon dioksit içerir.³³ Tri-kalsiyum silikat ana bileşen fazını oluştururken, tantalum oksit ise radyoopasif bir madde olarak eklenmiştir.⁷ Hidrasyon sırasında; tri-kalsiyum silikat, kalsiyum silikat hidrat ve kalsiyum hidroksit üretir. Bioaggregate'in bileşiminde yer alan tantalum oksit, materyalin renk stabilitesini önemli ölçüde arttırmıştır. Ayrıca, alüminyum içermeyen bir malzeme olması nedeniyle klinik uygulamalar için güvenli bir alternatiftir.³⁴

BioAggregate, hidroksiapatit benzeri bir yapı oluşturarak dentin ve dolgu malzemesi arasında kimyasal bir bağ oluşturur. Kanal duvarına olan bu kimyasal bağlanmayı arttıran, materyalin hidrofilik doğası ve düşük yüzey gerilimidir. Böylece hermetik bir kapanma elde edilir.³⁵ Ayrıca, smear tabakasının varlığının veya yokluğunun kanal duvarına olan bağlanmayı etkilemediği rapor edilmiştir.³⁶ Bioaggregate'ın, MTA'ya kıyasla daha iyi bir biyoyumluluk, biyoaktivite, basma dayanımı ve asit direnci sergilediği, ayrıca pulpa kaplama işleminde MTA'dan daha fazla odontoblastik diferansiyasyon ve mineralizasyon potansiyeline sahip olduğu bildirilmiştir.³⁷

3.2. Ceramicrete

Ceramicrete (Argonne National Lab, Illinois, USA), Illinois'deki Argonne Ulusal Laboratuvarı'nda geliştirilen bir fosfat seramiktir. Bu seramik, asidik bir monopotasyum fosfat ile az çözünür bazik bir kalsine magnezyum oksit arasındaki asit-baz reaksiyonu sonucunda ortaya çıkar. Bu fosfosilikat seramiğe hidroksiapatit tozu ve seryum oksit radyopak dolgu maddesinin eklenmesiyle, biyoyumlu ve radyopak bir Ceramicrete tabanlı diş/kemik materyali oluşturulmuştur.³⁸

3.3. Kalsiyum ile zenginleştirilmiş karışım – CEM

Asgary ve ark. 2006 yılında yeni formüle edilmiş biyomalzeme olan kalsiyum ile zenginleştirilmiş karışım (CEM) simanı (BioniqueDent, Tahran, İran) tanıtmıştır. CEM, suyla çözünebilen kalsiyum ve fosfat iyonları içerir

ve sertleştikten sonra hidroksiapatit oluşturur. Kök hücrelerinde farklılaşma sürecini teşvik eder ve sert doku oluşumunu indükler. CEM'in kök ucu dolgu malzemesi olarak sızdırmazlık yeteneği, MTA ile benzerdir. Ancak, tükürük kontaminasyonu varlığında MTA'ya kıyasla üstün sızdırmazlık yeteneği gösterir.³⁹ Kalsiyum hidroksit ile aynı ve MTA veya Portland simanından ise daha iyi bir antibakteriyel etkiye sahiptir.⁴⁰ Ayrıca, hücre kültüründeki son çalışmalar, CEM'in sitotoksitesinin kabul edilebilir aralıkta olduğunu, uygun biyoyumluluğa ve sert doku oluşumunu indükleyebilme yeteneğine sahip olduğunu ortaya koymuştur.⁴¹ Üretici, CEM'in aplikatöre yapışma eğiliminde olmadığını ve operatör tarafından kolayca uygulanabileceğini bildirmiştir.⁴²

Asgary ve ark. köpek dişleri üzerinde CEM, MTA ve kalsiyum hidroksit ile pulpa kaplaması yaptıkları bir çalışmada, kalsiyum hidroksitin aksine, CEM ve MTA grubundaki dişlerde pulpal inflamasyon gözlenmediğini ve dişlerin %75'inde dentin köprüsü oluştuğunu bildirmiştir.⁴³

3.4. EndoSequence

EndoSequence kök onarım materyali (ERRM; Brasse-ler, Savannah, GA), 2011 yılında geliştirilmiştir. Önceden karıştırılmış, enjekte edilebilir, kullanıma hazır kalsiyum silikat bazlı alüminyum içermeyen bir simandır. Tri-kalsiyum silikat, zirkonyum oksit, tantalum pentaoksit, monobazik kalsiyum fosfat ve doldurucu ajanlardan oluşmaktadır. Diş renklenmesine neden olmaz. Üreticiye göre, sertleşme dentin tübüllerinde bulunan nemin varlığında gerçekleşir.⁴⁴

3.5. TotalFill BC RRM Fast Set Putty (BC RRM-F)

TotalFill BC RRM Fast Set Putty (BC RRM-F), önceden karıştırılmış biyoseramik tabanlı bir macun olup, kök ucu dolgu malzemesi, perforasyon onarım malzemesi ve pulpotomi materyali olarak kullanılabilir. Üreticiye göre, saf üçlü kalsiyum silikat temellidir ve renklenmeden sorumlu olan alüminat fazını içermez. Ayrıca yapısında radyoopasite verici ajan olarak zirkonyum oksit ve tantalum oksit mevcuttur. Küçük partikül boyutuna sahip olması nedeniyle materyal, 20 dk gibi kısa bir sertleşme süresine sahiptir.⁴⁵

Tartışma

Vital pulpa tedavileri, çocuklarda geleneksel kök kanal tedavisine alternatif sağlayarak dişlerin vitalitesini korumaya ve normal işlevlerini sürdürebilmelerine olanak

Tablo I. Biyoseramiklerin Daimi Diş Vital Pulpa Tedavilerinde Kullanımı

Yazar	Tedavi tipi	Diş yapısı	Takip süresi	Materyal	Klinik Başarı	Radyolojik Başarı
Suhag ⁴⁸	DPK	Matür	12 ay	MTA (n=32) KH (n=32)	%93 %69*	-
Brizuela ⁴⁹	DPK	Matür	12 ay	KH (n=53) BD(n=60) MTA (n=56)	%86,3 %100 %86,36	- - -
Vural ⁵⁰	DPK	Matür	12 ay	MTA (n=51) KH (n=49)	%98 %89,8	- -
Özgür ⁵¹	PP	İmmatür	24 ay	SH+MTA (n=20) SS+MTA (n=20) SH+KH (n=20) SS+KH (n=20)	%94,4 %100 %95 %100	%94,4 %100 %95 %100
Kang ⁵²	PP	Matür, immatür	48-78 ay	ProRoot MTA (n=33) RetroMTA (n=35) OrthoMTA (n= 36)	%90 %89,4 %88,5	%75 dişte kalsifik bariyer
Uesrichai ⁵³	PP	Matür	32-50 ay	ProRoot MTA (n=37) BD (n=32)	%92 %87	%95 %97
Uyar ⁵⁴	PP	İmmatür	12 ay	ProRoot MTA (n= 18) BD (n = 18) KH (n = 18)	%94,4 %94,4 %72,2	- - -
El meligy ⁵⁵	TP	İmmatür	12 ay	MTA (n=15) KH (n=15)	%100 %87	%100 %87
Nosrat ⁵⁶	TP	İmmatür	12 ay	CEM (n=59) MTA (n=59)	%100 %100	%78,9 (Apikal kapanma) %81,5 (Apikal kapanma)
Keswani ⁵⁷	TP	İmmatür	24 ay	PRF (n=31) MTA (n=31)	%100 %100	%100 %100
Eppa ⁵⁸	TP	İmmatür	24 ay	MTA (n=20) 3Mix MP (n=20) ARP (n=20)	%100 %100 %80*	%100 %100 %80*
Abuelniel ⁵⁹	TP	İmmatür	18 ay	MTA (n=25) BD (n=25)	% 95 %95	- -
Taha ⁶⁰	TP	İmmatür	12 ay	BD (n =20)	%100	%95
Tauiq ⁶¹	TP	İmmatür	9 ay	ProRoot MTA (n= 55) KH (n = 55)	%87,2 %80	- -
Asgary ⁶²	TP	Matür	12 ay	CEM (n=205) MTA (n=208)	%97 %98	%92 %95
Taha ⁶³	TP	Matür	12 ay	ProRoot MTA (n = 50) BD (n = 50) TotalFill (n = 64)	%91,8 %93,3 %91,9	- - -

DPK: Direkt Pulpa Kaplaması, PP: Parsiyel Pulpotomi, TP: Total pulpotomi, MTA: Mineral Trioksit Agregat, KH: Kalsiyum Hidroksit, BD: Biodentine, CEM: Kalsiyumdan zenginleştirilmiş karışım SH: Sodyum Hipoklorit, SS: Steril Salin, PRF: Platelet Rich Fibrin, ARP: Abscess remedy patı *İstatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bildirilmiştir.

Tablo II. Biyoseramiklerin Süt Diş Vital Pulpa Tedavilerinde Kullanımı

Yazar	Tedavi tipi	Diş yapısı	Takip süresi	Materyal	Klinik Başarı	Radyolojik Başarı
Mushtaq ⁶⁴	TP	Süt azı	12 ay	MTA (n=25)	%95,5	%95,5
				3Mixtatin (n=25)	%91,3	%91,3
Rasteh ⁶⁵	TP	Süt azı	9 ay	MTA (n=42)	%100	%100
				Coldceram (n=42)	%100	%97,6
Güven ⁶⁶	TP	Süt azı	24 ay	BD (n=29)	%82,75	-
				MTA-Plus (n=29)	%86,2	-
				ProRoot MTA (n=29)	%93,1	-
				FS (n=29)	%75,86	-
Abdelwahab ⁴⁵	TP	Süt azı	12 ay	MTA (n=32)	%90,6	%71,9
				TotalFill (n=32)	%84,4	%68,8*
Sakai ⁹	TP	Süt azı	24 ay	PS (n=15)	%100	%100 (kanal obliterasyonu)
				MTA (n=15)	%100	%57,14* (kanal obliterasyonu)
Bani ⁶⁷	TP	Süt azı	24 ay	BD (n=31)	%96,8	%93,6
				MTA (n=31)	%96,8	%87,1
Cuadros Fernández ⁶⁸	TP	Süt azı	12 ay	BD (n=36)	%97	%95
				MTA (n=36)	%92	%97
Togaru ⁶⁹	TP	Süt azı	12 ay	BD (n=45)	%95,5	-
				MTA (n=45)	%95,5	-
Rajasekharan ⁷⁰	TP	Süt azı	18 ay	BD (n=25)	%95,24	%94,4
				ProRoot MTA (n=29)	%100	%90,9
				Tempophore (n=27)	%95,65	%82,4
Agamy ⁷¹	TP	Süt azı	12 ay	FC (n=20)	%90	-
				ProRoot MTA (n=20)	%80	%5 (kanal obliterasyonu)
				Gri MTA (n=20)	%100	%58 (kanal obliterasyonu)
Eidelman ⁷²	TP	Süt azı	6-30 ay	FC (n=15)	-	%13 (kanal obliterasyonu)
				MTA (n=17)	%100	%41 (kanal obliterasyonu)
Maroto ⁷³	TP	Süt azı	6-42 ay	Gri MTA (n = 69)	%100	%98,5
Farsi ⁷⁴	TP	Süt azı	24 ay	MTA (n=60)	%100	%100
				FC (n=60)	%98,6	%86,8*
Yıldız ⁷⁵	TP	Süt azı	30 ay	FC (n=35)	%100	%95,2
				FS (n=29)	%95,2	%85,7
				MTA (n=41)	%96,4	%96,4
				KH (n=35)	%85	%85

DPK: Direkt Pulpa Kaplaması, PP: Parsiyel Pulpotomi, TP: Total pulpotomi, KH: Kalsiyum Hidroksit, BD: Biodentine, CEM: Kalsiyumdan zenginleştirilmiş karışım FC: Formokresol, MTA: Mineral Trioksit Agregat, FS: Ferrik Sülfat *İstatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bildirilmiştir.

sağlar.⁴⁶ Yıllar içinde vital pulpa tedavileri için çeşitli materyal ve teknikler önerilmiştir. Pulpa kaplama materyalleri, dental pulpa ile ağız boşluğu arasında bir bağlantının oluşmasını engelleyerek olası iltihap ve bakteriyel enfeksiyonu azaltır. Pulpa kaplama materyalinin koruyucu mekanizması için, pulpa hücrelerinin çoğalması ve hasarlı bölgeye göç etmesi, ardından odontoblast benzeri hücrelere farklılaşarak pulpayı boşluktan uzaklaştıran tersiyer dentin oluşturması gerekir.

Biyoseramikler; antibakteriyel ve antifungal etkili, yüksek sızdırmazlık gösteren, biyouyumlu seramik veya metal oksit materyaller olarak tanımlanmaktadır. İçeriğindeki alümina ve zirkonya sayesinde bioinert; biyoaktif cam, hidroksiapatit ve kalsiyum silikat bileşenleri sayesinde biyoaktif; trikalsiyum fosfat ve biyoaktif cam sayesinde ise biyolojik olarak degrade olabilme özelliklerine sahiptirler.^{6,47} Biyoseramikler; pulpotomi, direkt pulpa kaplaması, apikal tıkama ve retrograd dolgu gibi tedavilerde gösterdikleri pozitif klinik sonuçlar nedeni ile diş hekimliği pratiğinde birçok kullanım alanı bulmuştur.

Bu derlemenin amacı vital pulpa tedavilerinde kullanılan farklı biyoseramik materyallerin sınıflandırılması ve tedavi başarısının karşılaştırılmasıdır. Yapılan literatür taramasında biyoseramiklerin süt ve daimi dişlerin vital pulpa tedavilerinde geniş bir kullanım alanı bulduğu görülmüştür. Biyoseramiklerin matür ve immatür daimi dişlerin ya da süt dişlerinin endodontik prosedürlerinde kullanımı ile ilgili literatür çalışmaları, Tablo I ve II'de özetlenmiştir.

Suhag ve arkadaşları ProRoot MTA ile kalsiyum hidroksitin matür dişlerin direk pulpa kaplaması tedavilerinde kullanımının 12 aylık takibini sunmuşlardır. Bu çalışmada başarı oranı; ProRoot MTA için %93, kalsiyum hidroksit için %69 olarak bildirilmiştir. Ayrıca her iki grupta da prosedürden 6 saat sonra ağrı anlamlı bir şekilde azalmıştır. 18 saat sonra MTA grubunda, kalsiyum hidroksit grubuna göre anlamlı derecede daha düşük ağrı skorları bildirilmiştir.⁴⁸

Matür daimi dişlerin direk pulpa kaplaması tedavisinde kalsiyum hidroksit, MTA ve Biodentine'in klinik başarısının araştırıldığı bir çalışmada, üçüncü ay kontrolünde kalsiyum hidroksit grubunda 1 başarısızlık; altıncı ay kontrolünde kalsiyum hidroksit grubunda 1, MTA grubunda 3 başarısızlık; on iki aylık kontrolünde ise kalsiyum hidroksit grubunda 1 yeni başarısızlık tespit edilmiştir. De-

ney grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır.⁴⁹ Kalsiyum hidroksit ve MTA kullanılarak yapılan matür daimi azı/premolar dişlerin direkt pulpa kaplaması tedavisi sonrası dişlerdeki periapikal patoloji varlığı ve pulpa semptomlarının klinik ve radyografik olarak değerlendirildiği başka bir çalışmada; dişin canlılığının korunması açısından gruplar arasında altıncı ve on ikinci aylarda anlamlı bir fark bulunmamıştır.⁵⁰

Bir çalışmada, 80 adet immatür daimi diş uygulanan parsiyel pulpotomi tedavisinin başarısı, kullanılan kanama kontrol ajanı ve pulpa kaplama ajanına göre değerlendirilmiştir. Grup 1 sodyum hipoklorit ve MTA; Grup 2 steril salin ve MTA, Grup 3 sodyum hipoklorit ve kalsiyum hidroksit; Grup 4 steril salin ve kalsiyum hidroksit olarak oluşturulmuştur. 24 ay sonra, eşzamanlı radyografik ve klinik başarı oranları sırasıyla birinci gruptan dördüncü gruba kadar %94,4, %100, %95 ve %100 olarak bildirilmiştir ($p > 0,05$). Restorasyonların marjinal bütünlük puanları ile kısmi pulpotomi başarısızlığı arasında anlamlı bir korelasyon bulunamamıştır ($p > 0,05$).⁵¹

Kang ve arkadaşları, kalsiyum silikat simanların pulpa koruma materyali olarak kullanımının uzun vadeli sonuçlarını araştırmışlardır. ProRoot MTA, OrthoMTA ve RetroMTA materyallerinin kullanıldığı çalışmada, 48-78 aylık klinik ve radyografik takip süresinde MTA genel başarı oranı %89,3 olarak bildirilmiştir. Kullanılan materyallerin kümülatif başarı oranları analiz edildiğinde gruplar arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır.⁵²

İrreversible pulpitis belirtileri ve semptomları gösteren matür daimi birinci azı dişlerine parsiyel pulpotomi tedavisinin uygulandığı bir çalışmada, ProRoot MTA ve Biodentine kullanımının tedavi başarısına etkisi ve dişlerde gri renklenmenin görülüp görülmediği araştırılmıştır. Bu çalışmada, her iki grubun başlangıç değişkenleri (cinsiyet, yaş, diş tipi, periapikal durum, kök gelişim aşaması, nihai restorasyon ve takip süresi) arasında fark olmadığı ve tedavi sonrası her iki grupta da genel başarı oranının %90 olduğu bildirilmiştir (ProRoot MTA; %92, Biodentine; %87, $p = 0,487$). Ayrıca ProRoot MTA ile tedavi edilen dişlerde %80, Biodentine ile tedavi edilen dişlerde ise %27 oranında belirgin gri renk değişikliği görülmüştür ($p < 0,001$).⁵³

Uyar ve arkadaşları Biodentine, MTA ve kalsiyum hidroksit ile parsiyel pulpotomi tedavisinin klinik ve radyografik başarısını ve dişlerin mesial ve distal köklerinin

uzunluk gelişimlerini 12 aylık takip süresinde değerlendirmişlerdir. Bu çalışmada Biodentine ve MTA, kalsiyum hidroksite kıyasla daha yüksek başarı oranları göstermiş, ancak bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p = 0,09$). Genel başarı oranı ise %87 olarak bildirilmiştir. Ayrıca, her grubun altıncı ay takiplerinde mezial ve distal kök uzunluklarında sürekli ve anlamlı bir artış bildirilmiştir ($p < 0,05$).⁵⁴

El Meligy ve arkadaşları en az iki immatür daimi diş pulpotomi gerektiren 15 hastayı dahil ettikleri çalışmalarında, kalsiyum hidroksit ve MTA'nın başarısını karşılaştırmışlardır. Dişlerin klinik ve radyografik başarısı 3, 6 ve 12 aylık takip sürelerinde değerlendirilmiştir. Bu çalışmada kalsiyum hidroksit ile tedavi edilen yalnızca 2 dişte ağrı ve şişlik nedeniyle başarısızlık olduğu bildirilmiştir. Ancak kalsiyum hidroksit (%87) ile MTA'nın (%100) klinik başarısı istatistiksel olarak benzer bulunmuştur. Ayrıca kalsiyum hidroksit ile tedavi edilen 2 dişte, MTA ile tedavi edilen 4 dişte kalsifik metamorfoz radyografik bir bulgu olarak tespit edilmiştir.⁵⁵

Semptomatik/asemptomatik pulpitis ile klinik çürük maruziyeti olan 51 immatür azı dişinin CEM ve MTA ile tedavisinin değerlendirildiği bir çalışmada, işlemin klinik ve radyografik başarısı 6 ve 12 aylık takip sürelerinde bildirilmiştir. Radyografik olarak apikal kapanmanın tam veya kısmi olup olmadığı değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, 12 ay sonra, mevcut tüm vakalarda pulpanın vitalitesini koruduğu ve kök gelişiminin devam ettiği gözlenmiştir. CEM grubunda %76,8, MTA grubunda ise %73,8 oranında tam apikal kapanma (apeksogeneze) bildirilmiştir. Ancak iki grup arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ($p > 0,05$).⁵⁶

İmmatür daimi azı dişlerin MTA ve plateletten zengin fibrin ile pulpotomi tedavisinin 24 aylık takip süresinde gösterdiği klinik ve radyografik sonuçları bildiren bir çalışmada, iki materyal arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. Plateletten zengin fibrin uygulanan grupta %88,8, MTA grubunda ise %80,07 oranında tam apikal kapanma bildirilmiştir.⁵⁷

6-14 yaş arası 60 hastanın dahil edildiği bir çalışmada immatür azı dişlerin pulpotomi tedavisi, MTA (ProRoot), üçlü antibiyotik pat (Siprofloksasin, metranidazol, minosiklin, 3Mix MP) ve Abscess remedy pat (Kresol, polioksimetilen ve tarçın yağı içeren bakterisit etkili bir pat,

Product Dentaire, İsviçre) kullanılarak yapılmıştır. Klinik ve radyografik değerlendirmeler 24 ay takip süresinde sunulmuş ve Abscess remedy patı ile tedavi edilen dört dişte ağrı ve periapikal lezyon bildirilmiştir. Tedavinin başarı oranı MTA için %93, üçlü antibiyotik pat için %100, Abscess remedy patı için ise %80 olarak bildirilmiştir.⁵⁸

Travmaya uğramış immatür anterior dişlerin MTA (ProRoot MTA) ve Biodentine ile pulpotomi tedavisinin 18 aylık takibini sunan bir çalışmada, her iki grupta da kök gelişiminin devam ettiği ve gruplar arasında anlamlı bir farklılık olmadığı, ancak MTA uygulanan gruptaki dişlerde renk değişikliği olduğu bildirilmiştir.⁵⁹

9-17 yaşları arasındaki 14 hastanın 20 daimi azı dişinin (tüm dişlerde geri dönüşümsüz pulpitis düşündürülen klinik bulgular ve 14 dişte semptomatik apikal periodontitis) Biodentine pulpotomisi ile tedavi edildiği bir çalışmada, tüm dişlerin işlemden 6 ve 12 ay sonra klinik olarak başarılı olduğu belirtilmiştir. Radyografik olarak, immatür dişler kök gelişimine devam etmiş; 20 dişin 5'inde dentin köprüsü oluşumu tespit edilmiştir. İşlem öncesi periapikal lezyon bulunan 7 dişin tamamında iyileşme görülmüştür. 12 aylık takip süresi sonunda sadece 1 dişte internal kök rezorpsiyonu tespit edilmiş ve Biodentine'in genel başarı oranı %95 (19/20) olarak rapor edilmiştir.⁶⁰

Tauiq ve arkadaşları MTA ve kalsiyum hidroksit ile koronal pulpotomi tedavisinin klinik ve radyografik başarısını 9 aylık takip süresinde değerlendirmişlerdir. Tedavinin başarı oranı kalsiyum hidroksit grubunda %80, MTA grubunda ise %87,2 olarak bildirilmiştir. Gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ($p > 0,05$).⁶¹

MTA ve CEM kullanılarak yapılan pulpotomi tedavisinin sonuçlarının ve hissedilen ağrı üzerindeki etkisinin değerlendirildiği bir çalışmada, işlem sonrası 7 gün boyunca ağrı şiddetini kaydetmek için sayısal derecelendirme ölçeği kullanılmıştır. 7 gün boyunca kaydedilen ortalama ağrı şiddetinde gruplar arasında anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir ($p = 0,221$). İşlem sonrası 12 aylık takipte klinik başarı; MTA grubunda %98, CEM grubunda ise %97 olarak bildirilmiştir. Radyografik başarı oranları ise MTA ve CEM grupları için sırasıyla %95 ve %92 olmuştur. İki grup arasında klinik ($p = 0,7$) ve radyografik ($p = 0,4$) başarı açısından anlamlı bir farklılık bulunmamıştır.⁶²

Semptomatik matür daimi dişlerin ProRoot MTA,

Biodentine ve TotalFill kullanılarak pulpotomi ile tedavi edildiği bir çalışmada, materyallerin klinik başarısı ile cinsiyet, yaş, teşhis, kanama süresi ve çürük türü gibi potansiyel prognostik faktörlerin ilişkisi analiz edilmiştir. Çoğu şiddetli ağrı ile başvuran hastaların %96,9'u ilk hafta boyunca ağrının tamamen geçtiğini veya hafif ağrı hissettiğini bildirmiştir. Çalışmanın genel başarı oranı 6 aylık takip süresinde %92,2, 12 aylık takip süresinde ise %92,3 olarak rapor edilmiştir. Materyallerin klinik başarısı MTA grubunda %91,8, Biodentine grubunda %93,3, TotalFill grubunda ise %91,9 olarak bulunmuş ve gruplar arasında anlamlı bir farklılık gözlenmemiştir. Sonuçlar ile araştırılan değişkenler arasında anlamlı bir ilişki bildirilmemiştir.⁶³

Mushtaq ve arkadaşları, 3-8 yaş arasındaki 48 sağlıklı çocuğun 50 süt azı dişini rastgele iki gruba ayırmış; MTA ve 3Mixtatin kullanarak pulpotomi ile tedavi etmiştir. 12 aylık takip süresinde, başarı oranları MTA'da %95,5 ve 3Mixtatin'de %91,3 olarak belirtilmiştir. MTA ve 3Mixtatin grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ($p > 0,05$).⁶⁴

MTA ve Coldceram kullanılarak süt dişlerinde pulpotomi tedavisinin uygulandığı bir çalışmada, 3, 6 ve 9 aylık takip sürelerinde tüm dişlerin klinik olarak asemptomatik olduğu ve her iki grupta da klinik başarı oranının %100 olduğu bildirilmiştir. Radyografik olarak; MTA %100, Coldceram ise %97 başarılı bulunmuştur.⁶⁵

Klinik veya radyografik olarak pulpa dejenerasyonu belirtileri göstermeyen süt azı dişlerinin dahil edildiği bir çalışmada Biodentine, MTA-Plus, ProRoot-MTA ve Ferric Sülfat kullanılarak pulpotomi uygulaması yapılmıştır. 24 aylık takip süresinde materyallerin başarı oranları sırasıyla %82,75, %86,2, %93,1 ve %75,86 olarak bulunmuştur. 6, 12 ve 24 aylık takiplerde başarı oranlarında, gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık gözlenmemiştir ($p > 0,05$).⁶⁶

Abdelwahab ve arkadaşları 64 süt azı dişinin MTA ve TotalFill kullanılarak uygulanan pulpotomi tedavisinin klinik ve radyografik başarısını sunmuşlardır. Üst restorasyon paslanmaz çelik kuron veya cam iyonomer siman ile bitirilmiştir. 1, 3, 6 ve 12 aylık takip sürelerinde, kullanılan pulpa kaplama materyallerinin başarı oranları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ($p > 0,05$). Bununla birlikte, cam iyonomer siman kullanı-

mının başarısızlık riskini arttırabileceği bildirilmiştir.⁴⁵

5-9 yaş arasındaki çocukların süt mandibular azı dişlerinin MTA ve PS kullanılarak pulpotomi tedavisinin yapıldığı bir çalışmada, iki grup arasında dentin köprüsü oluşumu açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ($p > 0,05$). Kök kanal obliterasyonu açısından değerlendirildiğinde, PS grubunda %100, MTA grubunda ise %57,14 mineralize doku birikimi görülmüş ve gruplar arasındaki bu farkın istatistiksel olarak da anlamlı olduğu bildirilmiştir ($p < 0,05$).⁹

Bani ve arkadaşları 4-9 yaş arasındaki 32 hastanın süt azı dişlerine Biodentine ve MTA ile pulpotomi tedavisi uygulamış ve tüm dişler paslanmaz çelik kron kullanılarak restore edilmiştir. 24 aylık takip süresinde klinik başarı oranı; Biodentine ve MTA için %96,8 olarak bildirilmiştir. Radyografik olarak ise Biodentine %93,6, MTA %87,1 başarılı bulunmuştur. Tüm takip sürelerinde gruplar arasında anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir ($p > 0,05$).⁶⁷

Vital pulpa tedavisi gerektiren süt azı dişlerine sahip 4-9 yaş arasındaki çocuklarda gerçekleştirilen klinik bir çalışmada, MTA veya Biodentine kullanılarak pulpotomi tedavisi uygulanmıştır. 12 ay sonunda MTA grubundaki klinik başarı oranı %92 iken, Biodentine grubunun başarı oranı %97 olarak bildirilmiştir ($p = 0.346$). MTA grubunda bir dişte internal rezorpsiyon görülmüş ve radyografik başarı oranı %97 olarak belirtilmiştir. Biodentine grubunda ise iki dişte, internal rezorpsiyon ve periradiküler radyolüseni oluşumuna bağlı radyografik başarısızlık tespit edilmiştir (%95).⁶⁸

Süt dişlerinde pulpotomi ajanı olarak kullanılan Biodentine ve MTA'nın klinik ve radyolojik başarısının incelendiği bir çalışmada; 3, 6, 9 ve 12 aylık takip sürelerinde yapılan değerlendirmeler sonucunda iki grup arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı ($p \geq 0,05$) ve başarı oranının %95,5 olduğu bildirilmiştir.⁶⁹

Spontan ağrı veya şişlik öyküsü olmayan vital süt dişlerine Biodentine, ProRoot MTA veya Tempophore kullanılarak yapılan pulpotomi tedavisinin klinik ve radyografik başarısı 18 aylık takip süresinde değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, klinik başarı Biodentine grubunda %95,24, ProRoot WMTA grubunda %100 ve Tempophore grubunda %95,65 iken; radyografik başarı oranı sırasıyla %94,4 %90,9 ve %82,4 olarak bildirilmiştir. Ancak gruplar arasında tespit edilen bu fark istatistiksel olarak anlamlı bu-

lunmamıştır ($p>0,05$). Bununla birlikte, 6 ve 18 ay sonunda Biodentine grubunda, ProRoot MTA grubuna kıyasla belirgin şekilde daha fazla pulpa kanal obliterasyonu görülmüştür ($p<0,05$).⁷⁰

Agamy ve ark. gri MTA, beyaz ProRoot MTA ve formokresol kullanarak süt azı dişlerine pulpotomi tedavisi uygulamış, ayrıca seri çekim planlanan süt dişlerini histolojik analiz için kullanmıştır. Klinik ve radyografik değerlendirmeler için seçilen dişler 12 ay boyunca izlenmiş, histolojik çalışma için seçilen dişler ise 6 ay postoperatif olarak izlenmiş ve daha sonra çekilmiştir. Klinik ve radyografik değerlendirmede; beyaz ProRoot MTA grubundan 4, formokrezol grubundan ise 2 dişte apse sebebiyle başarısızlık bildirilmiştir. Ayrıca gri MTA ile tedavi edilen 11 dişte ve beyaz MTA ile tedavi edilen 1 dişte radyografik bir bulgu olarak pulpa kanalının obliterasyonu tespit edilmiştir. Histolojik çalışmada, her iki tür MTA, amputasyon bölgelerinde kalın dentin köprüsü oluşumunu başarıyla teşvik etmiş, formokresol ise ince ve yetersiz mineralize olmuş dentin oluşturmuştur. Gri MTA ile tedavi edilen dişler, odontoblast tabakasını ve ince fibroslüler matrisini koruyarak normal pulpaya en yakın yapıyı göstermiş, ancak az sayıda inflamatuvar hücre veya izole kalsifiye cisimler gözlenmiştir. Beyaz MTA ile tedavi edilen dişlerde ise, daha yoğun bir fibrotik patern ve pulpa dokusunda daha fazla izole kalsifikasyon ile birlikte sekonder dentin oluşumu göstermiştir.⁷¹

MTA ve formokresol kullanılarak pulpotomi tedavisi uygulanan süt azı dişlerinin klinik ve radyografi başarıları 6 ila 30 ay arasında takip edilmiştir. Bu çalışmada, 17 ay sonra formokresol ile tedavi edilen bir dişte internal rezorpsiyon sebebi ile başarısızlık bildirilmiştir. MTA ile tedavi edilen dişlerde ise klinik veya radyografik bir patoloji görülmemiştir. Formokresol ile tedavi edilen 15 dişin 2'sinde (%13) ve MTA ile tedavi edilen 17 dişin 7'sinde (%41) pulpa kanal obliterasyonu, tespit edilmiştir.⁷²

MTA kullanılarak pulpotomi tedavisi uygulanan 69 süt azı dişinin 42 ay takip süresi ile değerlendirildiği bir çalışmada klinik başarı oranı %100 olarak bildirilmiştir. Radyografik başarı ise bir dişte tespit edilen internal rezorpsiyon vakası nedeniyle %98,5 olarak tespit edilmiştir. Tedaviden 42 ay sonra vakaların %84'ünde pulpa kanallarının obliterasyonu ve %83'ünde dentin köprüsü oluşumu gözlenmiştir.⁷³

MTA ve formokresol kullanılarak pulpotomi tedavisi uygulanan 120 süt azı dişinin klinik ve radyografik başarıları 24 ay boyunca takip edilmiştir. Bu çalışmada, MTA ile tedavi edilen dişlerde herhangi bir klinik veya radyografik patoloji görülmemiştir. Formokrezol grubunda; klinik başarı oranı %98,6, radyografik başarı oranı ise %86,8 olarak bildirilmiştir. İki grup arasındaki radyografik sonuçlar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmiştir ($p<0,05$).⁷⁴

Klinik ve radyografik olarak pulpa patolojisi belirtileri bulunmayan derin çürüğe sahip toplam 147 süt azı dişi, dört farklı pulpotomi materyali (formokresol, ferrik sülfat, Kalsiyum hidroksit ve MTA) kullanılarak tedavi edilmiştir. Bu çalışmada, 30 ay sonunda klinik başarı oranları formokresol, ferrik sülfat, MTA ve kalsiyum hidroksit gruplarında sırasıyla %100, %95,2, %96,4 ve %85 olarak tespit edilmiştir. Radyografik değerlendirmede ise MTA grubunda en yüksek (%96,4), kalsiyum hidroksit grubunda ise en düşük başarı oranı (%85) gözlemlenmiştir. Materyaller arasında klinik ve radyografik açıdan anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p>0,05$).⁷⁵

Sonuç

Biyoseramik materyallerin vital pulpa tedavilerindeki klinik ve radyografik başarıları karşılaştırıldığında, literatürde farklı sonuçların olduğu görülmektedir. Bazı çalışmalarda kullanılan materyaller arasında herhangi bir farklılık olmadığı, bazı çalışmalarda ise bir materyalin diğerinden üstün sonuçlar gösterdiği rapor edilmiştir. Ancak bütün çalışmalar, elde edilen pozitif klinik sonuçlar nedeniyle, biyoseramiklerin vital pulpa tedavilerinde kullanımını önermektedir.

Kaynaklar

- Hench LL. Bioceramics: from concept to clinic. *Journal of the American Ceramic Society*. 1991;74(7):1487-1510.
- Dubok VA. Bioceramics—yesterday, today, tomorrow. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*. 2000;39:381-394.
- Jitaru S, Hodisan I, Timis L, et al. The use of bioceramics in endodontics-literature review. *Clujul medical*. 2016;89(4):470.
- Koch K, Brave D. The increased use of bioceramics in endodontics. *Dentaltown*. 2009;10:39-43.
- Viola NV, Tanomaru Filho M, Cerri PS. MTA versus Portland cement: review of literature. *RSBO Revista Sul-Brasileira de Odontologia*. 2011;8(4):446-452.
- Raghavendra SS, Jadhav GR, Gathani KM, et al. Bioceramics in endodontics—a review. *Journal of Istanbul University Faculty of Dentistry*. 2017;51(3 Suppl 1):128-137.
- Parirokh M, Torabinejad M. Calcium silicate-based cements. *Mineral Trioxide Aggregate: Properties and Clinical Applications*. 2014:281-332.
- Borges ÁH, Pedro FL, Miranda CE, et al. Comparative study of physico-chemical properties of MTA-based and Portland cements. *Acta Odontológica Latinoamericana*. 2010;23(3):175-181.
- Sakai VT, Moretti AdS, Oliveira Td, et al. Pulpotomy of human primary molars with MTA and Portland cement: a randomised controlled trial. *British dental journal*. 2009;207(3):E5-E5.
- Torabinejad M, Hong C, McDonald F, et al. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *Journal of endodontics*. 1995;21(7):349-353.
- Lee SJ, Monsef M, Torabinejad M. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforations. *J Endod*. 1993;19(11):541-544.
- Parirokh M, Torabinejad M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review—part III: clinical applications, drawbacks, and mechanism of action. *Journal of endodontics*. 2010;36(3):400-413.
- Camilleri J. The chemical composition of mineral trioxide aggregate. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*. 2008;11(4):141-143.
- Dawood AE, Parashos P, Wong RH, et al. Calcium silicate-based cements: composition, properties, and clinical applications. *Journal of investigative and clinical dentistry*. 2017;8(2):e12195.
- Kang J-Y, Kim J-S, Yoo S-H. Comparison of setting expansion and time of OrthoMTA, ProRoot MTA and Portland cement. *Journal of the Korean Academy of Pediatric Dentistry*. 2011;38(3):229-236.
- Chang S-W, Lee S-Y, Ann H-J, et al. Effects of calcium silicate endodontic cements on biocompatibility and mineralization-inducing potentials in human dental pulp cells. *Journal of endodontics*. 2014;40(8):1194-1200.
- Quinonez-Ruvalcaba F, Bermudez-Jimenez C, Aguilera-Galaviz LA, et al. Histopathological Biocompatibility Evaluation of TheraCal PT, NeoMTA, and MTA Angelus in a Murine Model. *J Funct Biomater*. 2023;14(4).
- Alqahtani AS, Alsuhaibani NN, Sulimany AM, et al. NeoPutty® versus NeoMTA 2® as a pulpotomy medicament for primary molars: A randomized clinical trial. *Pediatric Dentistry*. 2023;45(3):240-244.
- Quintana RM, Jardine AP, Grechi TR, et al. Bone tissue reaction, setting time, solubility, and pH of root repair materials. *Clinical oral investigations*. 2019;23:1359-1366.
- Koc C, Aslan B, Ulusoy Z, et al. Sealing ability of three different materials to repair furcation perforations using computerized fluid filtration method. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects*. 2021;15(3):183-187.
- Modaresi J, Hemati HR. The cold ceramic material. *Dent Res J (Isfahan)*. 2018;15(2):85-88.
- Ranjan M. Review on Biodentine-A Bioactive Dentin Substitute.
- Abuarqoub D, Aslam N, Jafar H, et al. Biocompatibility of biodentine™® with periodontal ligament stem cells: In vitro study. *Dentistry journal*. 2020;8(1):17.
- Rajasekharan S, Martens L, Cauwels R, et al. Biodentine™ material characteristics and clinical applications: a 3 year literature review and update. *European Archives of Paediatric Dentistry*. 2018;19:1-22.
- Nielsen MJ, Casey JA, VanderWeele RA, et al. Mechanical properties of new dental pulp-capping materials. *General dentistry*. 2016;64(1):44-48.
- Giraud T, Jeanneau C, Rombouts C, et al. Pulp capping materials modulate the balance between inflammation and regeneration. *Dental Materials*. 2019;35(1):24-35.
- Elbanna A, Atta D, Sherief DI. In vitro bioactivity of newly introduced dual-cured resin-modified calcium silicate cement. *Dental Research Journal*. 2022;19(1):1.

28. Hench LL, Wilson J. Biocompatibility of silicates for medical use. Ciba Foundation Symposium 121-Silicon Biochemistry: Silicon Biochemistry: Ciba Foundation Symposium 121: Wiley Online Library 2007:231-253.
29. Heimann RB. Classic and advanced ceramics: from fundamentals to applications: John Wiley & Sons 2010.
30. Nery E, Lynch K, Hirthe W, et al. Bioceramic implants in surgically produced infrabony defects. Journal of periodontology. 1975;46(6):328-347.
31. Mistry S, Kundu D, Datta S, et al. Effects of bioactive glass, hydroxyapatite and bioactive glass-Hydroxyapatite composite graft particles in the treatment of infrabony defects. Journal of Indian Society of Periodontology. 2012;16(2):241-246.
32. Andereg CR, Alexander DC, Freidman M. A bioactive glass particulate in the treatment of molar furcation invasions. Journal of periodontology. 1999;70(4):384-387.
33. De-Deus G, Canabarro A, Alves G, et al. Optimal cytocompatibility of a bioceramic nanoparticulate cement in primary human mesenchymal cells. Journal of endodontics. 2009;35(10):1387-1390.
34. Camilleri J, Sorrentino F, Damidot D. Characterization of un-hydrated and hydrated BioAggregate™ and MTA Angelus™. Clinical oral investigations. 2015;19:689-698.
35. Koch K, Brave D, Nasseh AA. A review of bioceramic technology in endodontics. CE article. 2012;4:6-12.
36. Bidar M, Sadeghalhoseini N, Forghani M, et al. Effect of the smear layer on apical seals produced by two calcium silicate-based endodontic sealers. Journal of oral science. 2014;56(3):215-219.
37. Zhang S, Yang X, Fan M. BioAggregate and iRoot BP Plus optimize the proliferation and mineralization ability of human dental pulp cells. International endodontic journal. 2013;46(10):923-929.
38. SHIRAGUPPI V, DEOSARKAR B, DAS M, et al. Endodontic repair filling materials: a review article. J Interdisciplinary Dent Sci. 2018;7(2):15-22.
39. Ayatollahi F, Tabrizzadeh M, Bidoki FZ, et al. Comparison of marginal adaptation of mta and cem cement apical plugs in three different media. Iranian endodontic journal. 2016;11(4):332.
40. Utneja S, Nawal RR, Talwar S, et al. Current perspectives of bio-ceramic technology in endodontics: calcium enriched mixture cement-review of its composition, properties and applications. Restorative dentistry & endodontics. 2015;40(1):1.
41. Naghavi N, Ghoddusi J, Sadeghnia HR, et al. Genotoxicity and cytotoxicity of mineral trioxide aggregate and calcium enriched mixture cements on L929 mouse fibroblast cells. Dental materials journal. 2014;33(1):64-69.
42. Ghoddusi J. Material modifications and related materials. Mineral Trioxide Aggregate in Dentistry: From Preparation to Application: Springer 2014:131-149.
43. Asgary S, Eghbal MJ, Parirokh M, et al. A comparative study of histologic response to different pulp capping materials and a novel endodontic cement. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology. 2008;106(4):609-614.
44. Sharma V, Nawal RR, Augustine J, et al. Evaluation of Endosequence Root Repair Material and Endocem MTA as direct pulp capping agents: An in vivo study. Aust Endod J. 2022;48(2):251-257.
45. Abdelwahab DH, Kabil NS, Badran AS, et al. One-year Radiographic and Clinical Performance of Bioactive Materials in Primary Molar Pulpotomy: A Randomized Controlled Trial. J Dent. 2024:104864.
46. Alqaderi HE, Al-Mutawa SA, Qudeimat MA. MTA pulpotomy as an alternative to root canal treatment in children's permanent teeth in a dental public health setting. Journal of dentistry. 2014;42(11):1390-1395.
47. Best S, Porter A, Thian E, et al. Bioceramics: Past, present and for the future. Journal of the European Ceramic Society. 2008;28(7):1319-1327.
48. Suhag K, Duhan J, Tewari S, et al. Success of direct pulp capping using mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide in mature permanent molars with pulps exposed during carious tissue removal: 1-year follow-up. Journal of endodontics. 2019;45(7):840-847.
49. Brizuela C, Ormeño A, Cabrera C, et al. Direct pulp capping with calcium hydroxide, mineral trioxide aggregate, and biodentine in permanent young teeth with caries: a randomized clinical trial. Journal of endodontics. 2017;43(11):1776-1780.
50. Vural U, Kiremitçi A, Gökalp S. Clinical assessment of mineral trioxide aggregate in the treatment of deep carious lesions. Nigerian journal of clinical practice. 2017;20(5):600-605.
51. Özgür B, Uysal S, Güngör HC. Partial pulpotomy in

- immature permanent molars after carious exposures using different hemorrhage control and capping materials. *Pediatric Dentistry*. 2017;39(5):364-370.
52. Kang C-M, Seong S, Song JS, et al. The role of hydraulic silicate cements on long-term properties and biocompatibility of partial pulpotomy in permanent teeth. *Materials*. 2021;14(2):305.
 53. Uesrichai N, Nirunsittirat A, Chuveera P, et al. Partial pulpotomy with two bioactive cements in permanent teeth of 6-to 18-year-old patients with signs and symptoms indicative of irreversible pulpitis: a noninferiority randomized controlled trial. *International endodontic journal*. 2019;52(6):749-759.
 54. Uyar DS, Alaçam A. Evaluation of partial pulpotomy treatment in cariously exposed immature permanent molars: Randomized controlled trial. *Nigerian Journal of Clinical Practice*. 2021;24(10):1511-1519.
 55. El Meligy OA, Avery DR. Comparison of mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide as pulpotomy agents in young permanent teeth (apexogenesis). *Pediatric Dentistry*. 2006;28(5):399-404.
 56. Nosrat A, Seifi A, Asgary S. Pulpotomy in caries-exposed immature permanent molars using calcium-enriched mixture cement or mineral trioxide aggregate: a randomized clinical trial. *Int J Paediatr Dent*. 2013;23(1):56-63.
 57. Keswani D, Pandey RK, Ansari A, et al. Comparative evaluation of platelet-rich fibrin and mineral trioxide aggregate as pulpotomy agents in permanent teeth with incomplete root development: a randomized controlled trial. *Journal of endodontics*. 2014;40(5):599-605.
 58. Eppa HR, Puppala R, Kethineni B, et al. Comparative evaluation of three different materials: mineral trioxide aggregate, triple antibiotic paste, and abscess remedy on apical development of vital young permanent teeth. *Contemporary clinical dentistry*. 2018;9(2):158-163.
 59. Abuelniel GM, Duggal MS, Kabel N. A comparison of MTA and Biodentine as medicaments for pulpotomy in traumatized anterior immature permanent teeth: A randomized clinical trial. *Dent Traumatol*. 2020;36(4):400-410.
 60. Taha NA, Abdulkhader SZ. Full pulpotomy with biodentine in symptomatic young permanent teeth with carious exposure. *Journal of endodontics*. 2018;44(6):932-937.
 61. Tauiq J, Nazir A, Akram S, et al. Pulpotomy of immature permanent teeth using two different sealing materials: a comparative study. 2019.
 62. Asgary S, Eghbal MJ. Treatment outcomes of pulpotomy in permanent molars with irreversible pulpitis using biomaterials: a multi-center randomized controlled trial. *Acta Odontologica Scandinavica*. 2013;71(1):130-136.
 63. Taha NA, Al-Rawash MH, Imran Z. Outcome of full pulpotomy in mature permanent molars using 3 calcium silicate-based materials: a parallel, double blind, randomized controlled trial. *International Endodontic Journal*. 2022;55(5):416-429.
 64. Mushtaq A, Nangia T, Goswami M. Comparative Evaluation of the Treatment Outcomes of Pulpotomy in Primary Molars Using Mineral Trioxide Aggregate and 3Mixtatin: A Randomized Clinical Trial. *Int J Clin Pediatr Dent*. 2023;16(6):810-815.
 65. Rasteh B, Basir L, Taravati S, et al. Evaluation and comparison of mineral trioxide aggregate and cold ceramic in primary tooth pulpotomy: Clinical and radiographic study. *J Family Med Prim Care*. 2023;12(12):3068-3074.
 66. Guven Y, Aksakal SD, Avcu N, et al. Success rates of pulpotomies in primary molars using calcium silicate-based materials: A randomized control trial. *BioMed Research International*. 2017;2017.
 67. Bani M, Aktas N, Cinar C, et al. The Clinical and Radiographic Success of Primary Molar Pulpotomy Using Biodentine and Mineral Trioxide Aggregate: A 24-Month Randomized Clinical Trial. *Pediatr Dent*. 2017;39(4):284-288.
 68. Cuadros-Fernandez C, Lorente Rodriguez AI, Saez-Martinez S, et al. Short-term treatment outcome of pulpotomies in primary molars using mineral trioxide aggregate and Biodentine: a randomized clinical trial. *Clin Oral Investig*. 2016;20(7):1639-1645.
 69. Togaru H, Muppa R, Srinivas N, et al. Clinical and Radiographic Evaluation of Success of Two commercially Available Pulpotomy Agents in Primary Teeth: An in vivo Study. *The Journal of Contemporary Dental Practice*. 2016;17(7):557-563.
 70. Rajasekharan S, Martens LC, Vandenbulcke J, et al. Efficacy of three different pulpotomy agents in primary molars: a randomized control trial. *International endodontic journal*. 2017;50(3):215-228.
 71. Agamy HA, Bakry NS, Mounir MM, et al. Comparison of

- mineral trioxide aggregate and formocresol as pulp-capping agents in pulpotomized primary teeth. *Pediatric Dentistry*. 2004;26(4):302-309.
72. Eidelman E, Holan G, Fuks AB. Mineral trioxide aggregate vs. formocresol in pulpotomized primary molars: a preliminary report. *Pediatric Dentistry*. 2001;23(1):15-18.
73. Maroto M, Barberia E, Vera V, et al. Mineral trioxide aggregate as pulp dressing agent in pulpotomy treatment of primary molars: 42-month clinical study. *American Journal of Dentistry*. 2007;20(5):283.
74. Farsi N, Alamoudi N, Balto K, et al. Success of mineral trioxide aggregate in pulpotomized primary molars. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry*. 2005;29(4):307-311.
75. Yildiz E, Tosun G. Evaluation of formocresol, calcium hydroxide, ferric sulfate, and MTA primary molar pulpotomies. *European journal of dentistry*. 2014;8(02):234-240.