

BÖLÜM 15

ÇOCUK DIŞ HEKİMLİĞİNDE BİYOAKTİF MATERYALLERİN YERİ

Zeynep Şeyda YAVŞAN¹

Enes Mustafa AŞAR²

1. GİRİŞ

Dental materyaller, diş yapılarının rehabilitasyonunda ve ağız dokularının rejenerasyonunda temel rol oynamaktadır. Bu sebeple diş hekimliği tarihi boyunca araştırmacılar ideal dental materyal arayışı içinde olmuşlardır. Son yıllarda, teknolojik gelişmelerle artan araştırmalar, dental materyallerin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamıştır. Restoratif ve endodontik materyallerden kemik rekonstrüksiyonu için kullanılan biyoaktif ajanlara kadar, yeni materyallerin tanıtılması diş hekimliği uygulamalarını ve tedavi planlamasını değiştirmiştir. “Akıllı davranış” sergileyen bu materyaller, diş ve ağız dokularının korunmasından ödün vermeden bir veya daha fazla özelliğini değiştirerek dişin uyarılara yanıt vermesine yardımcı olan yeni bir çağ başlatmıştır. Başlangıçta biyolojik olarak inert materyallerin ideal ve biyoyumlu olduğu düşünülürken, son gelişmelerle biyoaktif materyallerin biyoyumlu materyallere alternatif olabileceği ortaya çıkmıştır (1). Biyoaktivite terimi, bir malzemenin canlı dokuda yanıt ortaya çıkarma yeteneği olarak tanımlanır. Biyoaktif materyaller, doğrudan canlı dokuları etkiler, hidroksiapatit oluşumunu indükler, doku iyileşmesini ve onarımını destekleyerek pulpa canlılığını korurlar (2). Bu materyaller, bakteriyel biyofilm oluşumunun inhibisyonu, dentin ve mine gibi diş sert dokularındaki mineral kaybının remineralizasyonu ve hastalıklı pulpa, kemik ve yumuşak dokuların rejenerasyonu dahil olmak üzere çok çeşitli fonksiyonlara hizmet eder. İdeal bir biyoaktif materyal bakterisidal, bakteriostatik, steril, dentin formasyonunu stimüle edici ve pulpa vitalitesini koruyucu özellikte olmalıdır (3).

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti AD., zsyavsan@nku.edu.tr

² Dr. Öğr. Üyesi, Selçuk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti AD., enesmustafa.asar@selcuk.edu.tr

Modern diş hekimliğinde, restoratif ve rekonstrüktif amaçlar için “biyoaktif” materyaller birçok alanda uygulanmaktadır. Biyoaktif olarak kabul edilen materyal uygulamaya bağlı olarak, farklı alanlarda farklı davranışlar sergilemektedir. Restoratif diş hekimliğinde biyoaktif terimi genellikle bir materyalin yüzeyinde hidroksiapatit kristalleri oluşturma yeteneğini ifade eder. İmplantolojide biyoaktivite, implant ve alıcı kemik arasında doğrudan kimyasal bağ oluşturma potansiyeli ile ilgilidir. Koruyucu diş hekimliğinde biyoaktivite, dişin mine yüzeyini remineralize etme yeteneği olarak tanımlanır (4). Endodontide, kalsiyum hidroksit, açıkta kalan pulpa dokusu üzerinde bir dentin köprüsü oluşumunu teşvik etmek için kullanılan biyoaktif özelliklere sahip ilk malzemelerden biri olarak bilinmektedir (5). Zamanla, mineral trioksit agregat (MTA) ve onun temel yapı malzemesi Portland simanından türevler geliştirilerek endodontide yaygın kullanım alanı bulmuştur (6). Biyoaktif materyaller, neredeyse diş hekimliğinin her alanını kapsayan çocuk diş hekimliğinde de önemli bir yere sahiptir. Çocuk diş hekimliğinde biyoaktif materyaller, dişin remineralizasyonunu sağlamada, pulpa kapaklamada, apeksifikasyon prosedürlerinde, rejeneratif tedaviler gibi pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (7).

2. REMİNERALİZASYON SAĞLAYAN BİYOAKTİF MATERYALLER

Dişler üzerindeki biyofilmde bulunan bakterilerin, ağızdaki fermente olabilen karbonhidratlarla beslenmesi sonucu yan ürün olarak organik asitler (asetik, laktik vb.) ürettiği artık iyi anlaşılmalı bir süreçtir (8). Bu asitler dişe diffüze olarak hidroksiapatit mineralini çözer ve çürük lezyonu meydana gelir (9). Bu süreç devam ederse kavite oluşur. Kavite oluşmadan önce, kısmi demineralizasyona sahip bir yüzey altı lezyonu mevcuttur ve bu lezyon yeniden mineralize edilebilir. Bu bağlamda remineralizasyon, kavitesiz çürük lezyonları için doğal onarım süreci olarak tanımlanmaktadır (10).

Diş çürüğünün patolojik sürecinin anlaşılması ile remineralizasyon ve demineralizasyon süreçlerine etki eden faktörler belirlenmiş ve böylece koruyucu uygulamalar ön plana çıkmıştır. Demineralizasyon ve remineralizasyon diş sert dokularındaki mineral dengesinin değişimini yansıtmaktadır. Bu denge oral çevreyi etkileyen birçok faktör nedeniyle bozulabilmektedir (11). Koruyucu uygulamaların amacı ise, demineralizasyonu oluşmadan engellemek veya demineralize olan alanları kavite oluşmadan remineralize ederek diş sert dokularını eski sağlığına kavuşturmadır.

Remineralizasyon sağlayan biyoaktif materyallerden biri olan biyoaktif camlar (kalsiyum sodyum fosfosilikat), diş hekimliğinde dentin hassasiyetinin gideril-

mesinde, vital tedavilerde, fissür örtücü uygulamalarında, dişin sert dokularının remineralizasyonu, antibakteriyel tedaviler gibi birçok alanda kullanılmaktadır (12). Diş sert dokularının remineralizasyonunu sağlama yönünden değerlendirildiğinde; biyoaktif camların tükürük ile temasında, remineralizasyon için kullanılabilir olan sodyum, kalsiyum ve fosfor iyonlarının salınımı gerçekleşmekte ve bu sayede minerin kompozisyonunu oluşturan hidroksiapatite benzer hidroksikarbonapatit oluşmaktadır (13).

Kazein fosfopeptid amorf kalsiyum fosfat (CPP-ACP) nanokomplekslerinin, yapılan çalışmalar sonucu antikaryojenik potansiyele sahip olduğu ispat edilmiştir (14). CCP-ACP, bakteriyel kolonizasyonu önleyerek, dental plağın kalsiyum (Ca) ve fosfat (P) seviyesini yükselterek ve serbest Ca ve P'ı bağlayarak demineralizasyonu önlemekte ve remineralizasyonu artırmaktadır (15). CPP-ACP, çocuk diş hekimliğinde, erken çocukluk çürüklerinin tedavisinde, beyaz lezyonların remineralizasyonunda, erozyonun ve hassasiyetin giderilmesinde kullanılmaktadır (16).

Flor ve CPP-ACP çürük önlemede sinerjik etki oluşturmaktadır. Yapılan çalışmalar, CCP içeren solüsyonla flor içeren solüsyonun etkilerini değerlendirmişler ve birlikte kullanımları sonucu remineralizasyon etkisinin arttığını ve florun %50 sinin CPP-ACP' ye bağlandığını bildirmişlerdir (15). Yeni oluşan bileşik kazein fosfopeptid amorf kalsiyum florofosfat (CCP-ACFP) olarak tanımlanmıştır. CPP-ACP ve CCP-ACFP' nin başlangıç çürüklerindeki etkilerinin kıyaslandığı çalışmanın sonuçlarına göre CCP-ACFP' nin daha fazla remineralizasyon sağladığı sonucuna ulaşılmıştır (17).

3. ENDODONTİK TEDAVİLERDE KULLANILAN BİYOAKTİF MATERYALLER

3.1. Kalsiyum Hidroksit

Kalsiyum hidroksit diş hekimliğinde neredeyse bir asırdır kullanılmaktadır (18). İlk olarak 1920'de Hermann tarafından endodonti alanına bir pulpa kaplama maddesi olarak tanıtılmıştır, ancak günümüzde endodontik tedavilerin neredeyse her tipinde yaygın olarak kullanılmaktadır (19). Saf kalsiyum hidroksitin pH'ı yaklaşık 12.5-12.8 seviyelerindedir (20).

Kalsiyum hidroksitin avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Başlangıçta bakterisidal, sonrasında bakteriyostatiktir.
- İyileşmeyi ve onarımı destekler.
- Yüksek pH fibroblastları uyarır.

- Düşük pH'lı asitleri nötralize eder.
- İnternal rezorpsiyonu durdurur.
- Ucuzdur, kullanımı kolaydır.

Dezavantajları ise şu şekildedir:

- Düzensiz dentin köprüsü oluşumuna sebep olur.
- Yalnızca tamir dentini yapımını uyarır.
- Dentin ve rezin restorasyon ile bağlanmaz (21).

Kalsiyum hidroksit pulpa dokusunu irrite etmeyen ve bakteriostatik bir ajan olarak görülse de, pulpa kaplama ajanı olarak doğrudan pulpa dokusuna uygulandığında pulpa yüzeyinde bir enflamasyona ve nekroza sebep olduğu, düzensiz dentin köprüsü oluşumuyla pulpaya hermetik bir sızdırmazlık sağlayamadığı görülmüştür (22). Bunun yanında kalsiyum hidroksit çocuk diş hekimliğinde özellikle apeksifikasyon prosedürlerinde kök ucunda sert doku oluşumunu stimüle etmek için kullanılır ancak sert doku oluşturma süresi 6 aydan 18 aya kadar değişen uzun bir sürede olmaktadır. Apikal bariyerlerin düzensiz oluşumu da dışı bakteriyel invazyona açık hale getirmektedir (7). Bu sebeple kalsiyum hidroksitin birtakım dezavantajları araştırmacıları yeni materyal arayışına itmiştir.

3.2. Mineral Trioksit Agregat (MTA)

Mineral trioksit agregat (MTA), ilk olarak 1990'lı yıllarda Torabinejad tarafından tanıtılmış olup, 1997'de Amerika Birleşik Devletleri'nde kullanılmak üzere Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) tarafından onaylanmış, esas olarak kalsiyum ve silikat elementlerinden oluşan biyoaktif bir endodontik simandır (23). MTA, düşük sitotoksositeye sahip, biyoyumlu bir materyaldir. Odontoblastik tabaka oluşturarak, dentin köprüsü oluşumunu stimüle eder. Sementoblastların aktivasyonu ile doku rejenerasyonu sağlar. Pulpal fibroblastlardan sitokin salınımını uyararak, sert doku oluşumunu stimüle eder (24).

MTA'nın içeriği, trikalsiyum silikat (%52-53), dikalsiyum silikat (%23), trikalsiyum alüminat (%0-4), kalsiyum sülfat (%1,5) ve radyoaktif madde olarak bizmut oksittir (%20). Hidrofilik bir siman olan MTA'nın sertleşmesi için neme ihtiyaç vardır. Sertleşme sırasında nem varlığı fleksürel dayanıklılığını artırır.

Laboratuvar çalışmalarında, mükemmel biyoyumluluk ve sızdırmazlık kabiliyetine sahip olduğu ve ayrıca perforasyonların onarımı, vital pulpa tedavileri, kök kanal dolgusu olarak ve apikal tıkaç olarak kullanıldığında arzu edilen klinik sonuçlarla ilişkilendirildiği bildirilmiştir. Bununla birlikte, uzun sertleşme süresi, diş renklenmesine sebep olması, yüksek maliyet ve zor kullanım özellikleri, bazen tedavilerin tamamlanması için birden fazla seans gerektirmesi potansiyel

dezavantajlar olarak ortaya çıkmıştır. MTA'nın dezavantajlarının üstesinden gelmek için, bir dizi biyoaktif endodontik siman (BES) geliştirilmiştir BioAgregat, Biodentin, BioRoot RCS, kalsiyumla zenginleştirilmiş siman (CEM), Endo-CPM, Endocem, EndoSequence, EndoBinder, EndoSeal MTA, iRoot, MicroMega MTA, MTA Bio, MTA Fillapex, MTA Plus, NeoMTA Plus, OrthoMTA, Quick-Set, RetroMTA, Tech Biosealer ve TheraCal LC dahil olmak üzere çok sayıda yeni BES piyasaya sunulmuştur. Hepsi çeşitli kimyasal özelliklerde olan bu materyallerin ortak özelliği biyoaktif olmalarıdır (24).

Çocuk diş hekimliğinde MTA, pulpayı içeren pek çok tedavide kullanım alanı bulmuştur. Özellikle açık apeksli dişlerde tek seansta apikal tıkaç oluşturmak için kullanılmaktadır. Açık apeksin çevresinde başarılı bir şekilde sert doku bariyeri oluşturmada $Ca(OH)_2$ ve MTA'yı karşılaştıran çalışmalarda başarı oranları birbirlerine benzer bulunsa da, MTA'nın apikal bariyer oluşturmak için ihtiyaç duyduğu süre $Ca(OH)_2$ 'den önemli ölçüde daha düşüktür (25). Direkt pulpa kuafaj ajanı olarak MTA'nın, tam kalsifik köprü oluşumu ve inflamasyonu azaltma açısından Dycal ile karşılaştırıldığında önemli ölçüde daha iyi sonuçlar verdiği bulunmuştur (26). Yapılan başka bir sistematik derlemede ise MTA'nın daimi dişlerde doğrudan pulpa kaplama ajanı olarak kullanıldığında başarısızlık riskinin önemli ölçüde daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır (27).

Direkt pulpa kuafajına kıyasla, enfekte pulpanın çıkarıldığı parsiyel pulpotominin tedavi başarısını artıracak belirli avantajları vardır. Ayrıca parsiyel pulpotomi, hücreden zengin koronal pulpa dokusunu korur ve servikal bölgedeki fizyolojik dentinin artmasını ve özellikle genç daimî dişlerde kök pulpasının da canlılığının devam etmesini sağlayarak kök gelişiminin devam etmesine olanak tanır. Yapılan çalışmalar, MTA'nın parsiyel pulpotomi için de klinik olarak başarılı bir materyal seçeneği olduğunu göstermektedir (28,29).

Yapılan çalışmalar ve tedavi rehberlerinde görüldüğü üzere MTA kullanımı rejeneratif endodontik tedavinin de önemli bir parçasıdır (30). Kalsiyum silikat esaslı bir materyal olan MTA mezenşimal kök hücrelerin çoğalmasını sağlayarak odontoblast benzeri hücre oluşumunu desteklemektedir (31). Bu nedenle yapılan çalışmaların çoğunda koronal bariyer olarak MTA kullanılmıştır (32,33). İlaveten osteoindüktif ve osteokondüktif özellikte olan MTA diş sert dokularının rejenerasyonuna yardımcı olmaktadır (23). Endodontik tedavilerde en sık kullanılan biyoaktif materyallerden biri olan MTA özellikle de mine-sement bileşkesinin altına konulmadığında dişte koronal renklenme yapabilmektedir. Bunun dışında elle ayarlanan toz-likit oranının uygulama zorluğu, yüksek maliyeti, sökülmesinin zor oluşu gibi dezavantajları da bulunmaktadır (34).

3.3. Biodentin

Biodentin, diş hekimliği pratiğine restoratif bir materyal olarak girmiş, dentin benzeri mekanik özelliklere sahip, yeni bir kalsiyum silikat bazlı restoratif simandır. Vital pulpa dokusu ile doğrudan temasta biyoyumludur, aynı zamanda tamir dentini oluşumunu destekler.

Biodentin toz ve sıvıdan oluşur. Toz esas olarak Portland çimentosunun ana bileşeni olan trikalsiyum ve dikalsiyum silikat (3CaO SiO_2 ve 2CaO SiO_2) ve ayrıca kalsiyum karbonat (CaCO_3) içerir. Zirkonyum dioksit (ZrO_2) kontrast madde görevi görür. Sıvı, polikarboksilat karışımı ile sulu çözeltide hızlandırıcı ve su azaltıcı madde olarak kullanılan kalsiyum klorürden ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) oluşur (35). Biodentin, üreticinin talimatlarına göre, önceden pürüzlendirme veya adezyon gerektirmeksizin dentin yüzeyine uygulanır (36).

Biodentin, derin kaviterlerde indirek veya direk pulpa kaplamalarında, pulpa odası tabanı perforasyonlarında, kök perforasyonlarında, invaziv eksternal kök rezorpsiyonu, apeksifikasyonu, apeksogenezi, kök kanal dolgu materyeli ve retrograt dolgu olarak kullanılabilir (37). Retrograt dolgu malzemesi olarak kullanıldığında biodentin, MTA'ya kıyasla önemli ölçüde daha iyi sızdırmazlık özelliği göstermiştir (38).

Çocuk diş hekimliğinde, immatür daimî dişlerde, travma veya çürük sebebiyle pulpa ekspozunda uygulanan pulpa kaplama materyalleriyle ilgili yapılan çalışmalarda, Biodentin'in uygun bir kaplama materyali olabileceğini düşünülmektedir. Katge ve ark. (39), 7 ile 9 yaş grubundaki hastalarda genç daimi azı dişlerinde doğrudan pulpa kuafajı için Biodentine ve MTA'nın performansını karşılaştırmışlardır. Çalışmada, klinik ve radyografik parametrelere dayalı olarak 1 yıllık takipte hem Biodentine hem de MTA ile %100 başarı gösterdiği bulunmuştur.

Brizuela ve ark. (40) tarafından yapılan bir çalışmada MTA ve Biodentine'in klinik performansı değerlendirilmiş ve doğrudan pulpa kuafajı yapılan 7 ile 16 yaşındaki çocuklarda (açık ve kapalı uçlu genç daimi azı dişleri olan) kalsiyum hidroksitin (CH) performansı ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucuna göre Biodentin grubunda %100, CH ve MTA gruplarının her birinde %86,36 başarı oranı bulunmuştur. Tüm takip dönemlerinde, çalışılan materyaller arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı kaydedilmiştir. Ancak çalışma, Biodentinin MTA'ya göre kolay kullanım, ortalama 12 dakikada sertleşme ve dişte renk değişikliğine neden olmama gibi bazı avantajlar sunduğunu kaydetmiştir. Ekspoze olmuş pulpa dokusunda, biodentin, dentin köprüsü oluşumunu teşvik etme eğilimindedir ve bu durumun, biyoyumluluğu, alkaliliği ve sızdırmazlık kabiliyetlerinin kombinasyonundan kaynaklandığı düşünülmektedir (41).

Biodentin, aynı zamanda çocuk diş hekimliğinde, süt dişlerinde amputasyon ajanı olarak da kullanılmaktadır. Yapılan bir çalışma MTA ve biodentinin süt dişi amputasyonlarında kullanılabilir başarıları materyaller olduğunu göstermiştir (42).

3.4. Kalsiyumdan zenginleştirilmiş karışım (CEM)

Kalsiyumdan zenginleştirilmiş karışım (CEM), olarak adlandırılan biyoaktif siman, 2006 yılında diş hekimliğine bir endodontik dolgu malzemesi olarak tanıtılmıştır. Bu yeni siman farklı kalsiyum bileşiklerinden oluşmaktadır. CEM'in önemli bileşenleri; alkali toprak metal oksitler ve hidroksitler, kalsiyum fosfat ve kalsiyum silikattır. CEM'deki baskın elementler sırasıyla kalsiyum, sülfür, fosfor ve silikondur ve bu açıdan MTA'ya benzemektedir (43).

CEM simanının; kalsiyum ve fosfat iyonları salınan kendine özgü kaynakları bulunmakta ve bu kaynakları kullanarak hidroksiapatit (HA) oluşturabilmektedir. Üretilen HA daha sonra dentin köprüsü oluşumunu indüklemektedir. CEM aynı zamanda insan dental pulpa hücrelerinin farklılaşmasını da indüklemektedir (44).

CEM'in klinik kullanımı MTA ve Biodentin'e benzerdir (45). Köpeklerde yapılan bir in-vivo çalışmanın sonuçlarında, pulpa kaplama materyali olarak kullanılan MTA ve CEM materyali benzer olumlu sonuçlar göstermiştir (46). Ayrıca CEM, pulpotomide, rezorpsiyonlarda, apeksogenezis ve apeksifikasyon gibi tedavilerde de kullanılmaktadır. Yapılan bir vaka raporunda, CEM materyali apeksogenezis tedavisinde kullanılmış ve 12 aylık takip sonucunda klinik olarak dişin fonksiyonda kaldığı, radyografik muayenesinde kök gelişiminin tamamlandığı ve apeksin oluştuğu gösterilmiştir (47). Son zamanlarda yapılan bir çalışmada, CEM'in süt azı dişlerinin vital pulpa tedavilerinde kullanılabilir uygun bir alternatif materyal olabileceğini göstermiştir (48).

CEM ile ilgili literatürün çoğu şu anda zayıf kanıt seviyeleri olarak kabul edilen vaka raporlarına ve vaka serilerine dayanmaktadır. Bu sebeple CEM'in çocuk diş hekimliğinde kullanımı hakkında daha fazla ve geniş kapsamlı bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır.

3.5. BioAgregat (BA)

Bioagregat (BA), MTA'nın nanopartikül teknolojisiyle geliştirilmiş bir uyarlamasıdır. Nano partikül boyutunda trikalsiyum silikat, penta oksit, kalsiyum fosfat ve silikon dioksitten oluşur ve MTA'ya kıyasla daha gelişmiş bir performans sunar. Trikalsiyum silikat, ana bileşenidir. Bu malzemenin alüminyum içermeyen bir seramik biyomateryal olduğu iddia edilmektedir (24).

BioAgregat'ın pulpa kaplama maddesi olarak klinik uygulaması, kaplama malzemesinin altındaki dentinin mineralizasyonunu destekler niteliktedir. BA'nın sitotoksitesine ilişkin endişeler, yapılan çalışmalar sonucunda insan hücreleri için toksik olmadığını bulunması ve ayrıca insan periodontal ligament fibroblastlarının farklılaşmasını sağlama yeteneğine sahip olduğunun bulunması ile bertaraf edilmiştir (49).

Sızdırmazlık kabiliyeti ve biyouyumluluk açısından MTA'ya benzeyen bu materyalin, bölgede sert doku bariyeri oluşturma potansiyeli daha fazladır. BA, kök perforasyonu onarımı, kök rezorpsiyonu onarımı, retrograt dolgu, apeksifikasyon ve pulpa kuafajı için endikedir (50).

Çocuk diş hekimliğinde apeksifikasyon prosedürleri için uygun bir materyal olduğu düşünülen Bioagregat'ın rutin klinik kullanıma girmesi için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.

3.6. Theracal LC

Theracal LC, kalsiyum silikat esaslı yeni nesil biyoaktif simandır. Üretici tarafından uygulamaya hazır tek şırınga halinde bulunur, pulpa kaplama ajanı ve liner olarak kullanılır ve ışıkla sertleşir. İçerisinde, ağırlıkça, %45 tip 3 Portland siman, %3 radyopak komponent olarak baryum sülfat, %3 bizmut oksit, %7 hidrofilik kalınlaştırıcı ajan ve yaklaşık %43 rezin bulunmaktadır (51).

Pulpa hücrelerinin mineralizasyonu ve diferansiyasyonu için kalsiyum iyonu gereklidir. TheraCal en az 28 gün kalsiyum ve hidroksil iyonu salarak iyon salabilen bir materyal olduğunu göstermiştir ve bu salınım ProRoot MTA ve Dycal'da salınan kalsiyum miktarından belirgin oranda fazladır (52).

Yapılan randomize kontrollü bir çalışmanın sonucunda, süt molar dişlerde indirek kuafaj tedavisinde kullanılan Theracal LC ve MTA'nın başarılı sonuçlar verdiği ve dişlerin semptomsuz bir şekilde ağızda kaldığı bulunmuştur. Çalışmanın sonucuna göre, TheraCal, uygulama kolaylığı, karşılaştırılabilir tersiyer dentin oluşumu, daha iyi sızdırmazlık kabiliyeti ve nihai restorasyonu tek randevuda sağlama kolaylığı nedeniyle pediatrik restoratif diş hekimliğinde MTA'ya alternatif olarak önerilebilir (53).

3.7. Endosequence Kök Tamir Materyali

Bileşiminde zirkonyum oksit, kalsiyum silikatlar, tantal oksit, kalsiyum fosfat monobazik, doldurucular bulunmaktadır (23). Bir kök tamir materyali olarak üretilen endosequence, MTA'ya göre daha kolay manipüle edilebilir. Karıştırma gerekmeksizin önceden hazırlanmış enjekte edilebilir veya tepilebilir kıvamlarda biyoaktif bir simandır (24). İn vitro çalışmalarda MTA'ya benzer şekilde biyou-

yumlu olduğu, ayrıca marjinal uyumu ve adaptasyonu da MTA ile kıyaslanabilir seviyelerde olduğu gösterilmiştir (54). Laboratuvar çalışmalarında çözünürlük ve sertleşmeleri konusunda çelişkili sonuçlar bulunmaktadır. Fakat buna rağmen dentin tübüllerindeki nem sertleşmesi için yeterlidir (55). Endosequence sertleştiğinde dentin ile boyutsal dayanıklılık sağlayabilecek mekanik bağlantılar oluşturmaktadır. Diğer kalsiyum silikat materyallerde olduğu gibi pH değeri yüksektir ve antimikrobiyal etkilidir (56).

Yapılan klinik bir çalışmada, dentin köprüsünün oluşumu ve pulpa iltihabı açısından endosequence ve MTA arasında fark olmadığı ve MTA ile tedavi edilen hastalarda soğuğa karşı daha az hassasiyet olduğu sonucuna varılmıştır (57). Ancak materyalin süt dişleri ve daimî dişlerde başarısını değerlendirmek için daha fazla klinik çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

SONUÇ

İçinde bulunduğumuz rejenerasyon çağında, demineralize olmuş diş sert dokusunun yeniden mineralizasyonu, dişin sert ve yumuşak dokularının korunmasını destekleyen biyoaktif materyallerin kullanımı ve yeni materyal arayışı önemli hale gelmiştir. Bu materyaller geleneksel dental materyallere göre diş dokusunda yanıt oluşturması sebebiyle avantajlar sunmaktadır. Çocuk diş hekimliğinde de geniş kullanım alanı bulan biyoaktif materyaller ile, dişin ağızda kalma süresi artmakta böylece çocuklar için estetik ve fonksiyonun devamlılığı sağlanarak yaşam kalitesinin artırılması hedeflenmektedir.

Bu biyomateryallerin hemen hemen hepsinin biyolojik özellikleri benzer olmasına rağmen klinik şartlarında kabul görmesi için hala ileri düzeyde, detaylı klinik çalışmalara ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

1. Traini T. Advances in dental materials “at a glance.” *Materials (Basel)*. 2021;14(7):14–6.
2. N Hegde DM, Attavar DS, N DS. BIOACTIVE MATERIALS – A REVIEW. *International Journal of Advanced Scientific and Technical Research*. 2017;6(7). doi: 10.26808/rs.st.i7v6.01
3. Melo MA, Collares F, Sauro S. Editorial: Developing Bioactive Materials for Dental Applications. Vol. 8, *Frontiers in Materials*. 2021. doi.org/10.3389/fmats.2021.751618
4. Bossù M, Matassa R, Relucenti M, Iaculli F, Salucci A, Di Giorgio G, et al. Morpho-chemical observations of human deciduous teeth enamel in response to biomimetic toothpastes treatment. *Materials (Basel)*. 2020;13(8). doi: 10.3390/ma13081803.
5. Tiskaya M, Shahid S, Gillam D, Hill R. The use of bioactive glass (BAG) in dental composites: A critical review. *Dental Materials*.2021;37(2):296–310. doi.org/10.1016/j.dental.2020.11.015
6. Paula A, Carrilho E, Laranjo M, Abrantes AM, Casalta-Lopes J, Botelho MF, et al. Direct pulp capping: Which is the most effective biomaterial? A retrospective clinical study. *Materials (Basel)*. 2019;12(20):1–13. doi: 10.3390/ma12203382

7. Raju SS, MP S, Kiranmayi M, Reddy ER, Divya SS, Gowtham P. Bio active materials in pediatric dentistry: A review. *International Journal of Applied Dental Sciences*. 2021 Jan 1;7(1):345–51. : <https://doi.org/10.22271/oral.2021.v7.i1e.1153>
8. McNee SG, Geddes DAM, Weetman DA. Diffusion of sugars and acids in human dental plaque in vitro. *Archives of oral biology*. 1982;27(11):975–9. doi: 10.1016/0003-9969(82)90106-6
9. Frank RM. Structural events in the caries process in enamel, cementum, and dentin. *Journal of dental research*. 1990;69:559–66. doi: 10.1177/00220345900690S112
10. Featherstone JD. Remineralization, the natural caries repair process--the need for new approaches. *Advances in dental research*. 2009;21(1):4–7. doi: 10.1177/0895937409335590
11. Cochrane NJ, Cai F, Huq NL, Burrow MF, Reynolds EC. CRITICAL REVIEWS IN ORAL BIOLOGY & MEDICINE. *Journal of Dental Research*. 2010;89(11):1187–97. doi: 10.1177/0022034510376046
12. Cevahir G, Merkezi K, Diego S. Bir cam-seramik biyomalzemenin üretimi , tanımlanması ve biyolojik etkilerinin canlı-dışı ve canlı-içi ortamda değerlendirilmesi. *Acta Orthopaedica Et Traumatologica Turcica*. 2007; ;41(4):307-313
13. Burwell AK, Litkowski LJ, Greenspan DC. Calcium sodium phosphosilicate (Nova-Min): remineralization potential. *Advances in dental research*. 2009;21(1):35–9. doi: 10.1177/0895937409335621
14. Azarpazhooh A, Limeback H. Clinical efficacy of casein derivatives a systematic review of the literature. *Journal of the American Dental Association*.2008;139(7):915–24. doi: 10.14219/jada.archive.2008.0278
15. Reynolds EC, Cai F, Shen P, Walker GD. Retention in plaque and remineralization of enamel lesions by various forms of calcium in a mouthrinse or sugar-free chewing gum. *Journal of dental research*. 2003;82(3):206–11. doi: 10.1177/154405910308200311
16. Savaş S, Küçükylmaz E. Diş Hekimliğinde Kullanılan Remineralizasyon Ajanları Ve Çürük Önleyici Ajanlar. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*. 2015;9(9):113–25. doi: 10.17567/dfd.94552
17. Cochrane NJ, Saranathan S, Cai F, Cross KJ, Reynolds EC. Enamel subsurface lesion remineralisation with casein phosphopeptide stabilised solutions of calcium, phosphate and fluoride. *Caries research*. 2008;42(2):88–97. doi: 10.1159/000113161
18. Siqueira JF, Lopes HP. Mechanisms of antimicrobial activity of calcium hydroxide: A critical review. *International endodontic journal*. 1999;32(5):361–9. doi:10.1046/j.1365-2591.1999.00275.x
19. Fuks AB. Vital Pulp Therapy with New Materials for Primary Teeth: New Directions and Treatment Perspectives. *Journal of endodontics*.2008;34(7SUPPL.). doi:10.1016/j.joen.2008.02.031
20. Teixeira FB, Levin LG, Trope M. Investigation of pH at different dental sites after placement of calcium hydroxide dressing by two methods. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics*. 2005;99(4):511–6. doi: 10.1016/j.tripleo.2004.07.023
21. Farhad A, Mohammadi Esfahan Z. Calcium hydroxide: a review Chemical characteristics of calcium hydroxide. *International Dental Journal*. 2005;55:293–301. doi: 10.1111/j.1875-595X.2005.tb00326.x
22. Li Z, Cao L, Fan M, Xu Q. Direct Pulp Capping with Calcium Hydroxide or Mineral Trioxide Aggregate: A Meta-analysis. *Journal of endodontics*. 2015;41(9):1412–7. doi: 10.1016/j.joen.2015.04.012
23. Parirokh M, Torabinejad M, Dummer PMH. Mineral trioxide aggregate and other bioactive endodontic cements: an updated overview – part I: vital pulp therapy. *International endodontic journal*. 2018;51(2):177–205. doi: 10.1111/iej.12841
24. Zafar K, Jamal S, Ghafoor R. Bio-active cements-mineral trioxide aggregate based calcium silicate materials: A narrative review. *The Journal of the Pakistan Medical Association*. 2020;70(3):497–504. doi: 10.5455/JPMA.16942
25. Chala S, Abouqal R, Rida S. Apexification of immature teeth with calcium hydroxide or mineral trioxide aggregate: Systematic review and meta-analysis. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics* 2011;112(4):e36–42. doi: 10.1016/j.tripleo.2011.03.047

26. Leye Benoist F, Gaye Ndiaye F, Kane AW, Benoist HM, Farge P. Evaluation of mineral trioxide aggregate (MTA) versus calcium hydroxide cement (Dycal®) in the formation of a dentine bridge: A randomised controlled trial. *International dental journal*. 2012;62(1):33–9. doi: org/10.1111/j.1875-595X.2011.00084.x
27. Parolia A, Kundabala M, Rao NN, Acharya SR, Agrawal P, Mohan M, et al. A comparative histological analysis of human pulp following direct pulp capping with Propolis, mineral trioxide aggregate and Dycal. *Australian dental journal*. 2010;55(1):59–64. doi: 10.1111/j.1834-7819.2009.01179.x
28. Bakhtiar H, Nekoofar MH, Aminishakib P, Abedi F, Naghi Moosavi F, Esnaashari E, et al. Human Pulp Responses to Partial Pulpotomy Treatment with TheraCal as Compared with Biodentine and ProRoot MTA: A Clinical Trial. *Journal of endodontics*. 2017;43(11):1786–91. doi: 10.1016/j.joen.2017.06.025
29. Kang CM, Sun Y, Song JS, Pang NS, Roh BD, Lee CY, et al. A randomized controlled trial of various MTA materials for partial pulpotomy in permanent teeth. *Journal of dentistry*. 2017;60:8–13. doi: 10.1016/j.jdent.2016.07.015
30. Galler KM, Krastl G, Simon S, Van Gorp G, Meschi N, Vahedi B, et al. European Society of Endodontology position statement: Revitalization procedures. *International endodontic journal*. 2016;49(8):717–23. doi: 10.1111/iej.12629
31. Zhao X, He W, Song Z, Tong Z, Li S, Ni L. Mineral trioxide aggregate promotes odontoblastic differentiation via mitogen-activated protein kinase pathway in human dental pulp stem cells. *Molecular biology reports*. 2012;39(1):215–20. doi: 10.1007/s11033-011-0728-z
32. Diogenes A, Henry MA, Teixeira FB, Hargreaves KM. An update on clinical regenerative endodontics. *Endodontic Topics*. 2013;28(1):2–23. doi: org/10.1111/etp.12040
33. Staffoli S, Plotino G, Torrijos BGN, Grande NM, Bossù M, Gambarini G, et al. Regenerative endodontic procedures using contemporary endodontic materials. *Materials (Basel)*. 2019;16(6):1–28. doi: 10.3390/ma12060908
34. Roberts HW, Toth JM, Berzins DW, Charlton DG. Mineral trioxide aggregate material use in endodontic treatment: A review of the literature. *Dental Materials*. 2008;24(2):149–64.
35. Nowicka A, Lipski M, Parafiniuk M, Sporniak-Tutak K, Lichota D, Kosierkiewicz A, et al. Response of human dental pulp capped with biodentine and mineral trioxide aggregate. *Journal of endodontics*. 2013;39(6):743–7. doi: 10.1016/j.joen.2013.01.005
36. Hamama H. Characterization of Bioactive Restoration/Dentine Interface. *Egyptian Dental Journal*. 2019;65(3):2731–8. DOI: 10.21608/EDJ.2019.72672
37. Rajasekharan S, Martens LC, Cauwels RGEC, Verbeeck RMH. Biodentine™ material characteristics and clinical applications: A review of the literature. *European archives of paediatric dentistry*. 2014;15(3):147–58. doi: 10.1007/s40368-014-0114-3
38. Soundappan S, Sundaramurthy JL, Raghu S, Natanasabapathy V. Biodentine versus Mineral Trioxide Aggregate versus Intermediate Restorative Material for Retrograde Root End Filling: An Invitro Study. *Journal of dentistry (Tehran, Iran)* 2014;11(2):143–9.
39. Katge FA, Patil DP. Comparative Analysis of 2 Calcium Silicate-based Cements (Biodentine and Mineral Trioxide Aggregate) as Direct Pulp-capping Agent in Young Permanent Molars: A Split Mouth Study. *Journal of Endodontics*. 2017;43(4):507–13. doi: 10.1016/j.joen.2016.11.026
40. Brizuela C, Ormeño A, Cabrera C, Cabezas R, Silva CI, Ramírez V, 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):1776–80. doi: 10.1016/j.joen.2017.06.031
41. Arandi NZ, Thabet M. Minimal Intervention in Dentistry: A Literature Review on Biodentine as a Bioactive Pulp Capping Material. *BioMed research international*. 2021;2021. doi: 10.1155/2021/5569313
42. Kusum B, Rakesh K, Richa K. Clinical and radiographical evaluation of mineral trioxide aggregate, biodentine and propolis as pulpotomy medicaments in primary teeth. *Restorative dentistry & endodontics*. 2015;40(4):276. doi: 10.5395/rde.2015.40.4.276

43. Asgary S, Shahabi S, Jafarzadeh T, Amini S, Kheirieh S. The Properties of a New Endodontic Material. *Journal of Endodontics*.2008;34(8):9903.doi.org/10.1016/j.joen.2008.05.006
44. Bahadır Hs, Bayraktar Y. Calcium Enriched Mixture. *Türkiye Klinikleri*. 2019;25(2):182-92.
45. Asgary S, Eghbal MJ, Parirokh M. Sealing ability of a novel endodontic cement as a root-end filling material. *Journal of biomedical materials research*. 2008;87(3):706-9. doi: 10.1002/jbm.a.31678
46. Asgary S, Eghbal MJ, Parirokh M, Ghanavati F, Rahimi H. 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 endodontics*. 2008;106(4):609-14. doi: 10.1016/j.tripleo.2008.06.006
47. Nosrat A, Asgary S. Apexogenesis Treatment with a New Endodontic Cement: A Case Report. *Journal of Endodontics*. 2010;36(5):912-4. doi: 10.1016/j.joen.2009.11.025
48. Utneja S, Nawal RR, Talwar S, Verma M. 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. doi: 10.5395/rde.2015.40.1.1
49. Yan P, Yuan Z, Jiang H, Peng B, Bian Z. Effect of bioaggregate on differentiation of human periodontal ligament fibroblasts. *International endodontic journal*.2010;43(12):1116-21. doi:10.1111/j.1365-2591.2010.01786.x
50. Prati C, materials MG-D, 2015 undefined. Calcium silicate bioactive cements: Biological perspectives and clinical applications. *Dental Materials*. 2015 Apr;31(4):351-70. doi: 10.1016/j.dental.2015.01.004
51. Arandi NZ, Rabi T. TheraCal LC: From Biochemical and Bioactive Properties to Clinical Applications. *International journal of dentistry*. 2018;2018. doi: 10.1155/2018/3484653
52. Gandolfi MG, Siboni F, Botero T, Bossù M, Riccitiello F, Prati C. Calcium silicate and calcium hydroxide materials for pulp capping: Biointeractivity, porosity, solubility and bioactivity of current formulations. *Journal of applied biomaterials & functional materials*.2015;13(1):1-18. doi: 10.5301/jabfm.5000201
53. Menon N, Varma B, Janardhanan S, Kumaran P, Xavier A, Govinda B. Clinical and radiographic comparison of indirect pulp treatment using light-cured calcium silicate and mineral trioxide aggregate in primary molars: A randomized clinical trial. *Contemporary clinical dentistry*. 2016;7(4):475-80. doi: 10.4103/0976-237X.194109
54. Shokouhinejad N, Nekootar MH, Ashortehtyazdi K, Zahraee S, Khoshkhounejad M. Iran Marginal adaptation of new bioceramic materials and mineral trioxide aggregate: A scanning electron microscopy study. *Iranian endodontic journal*. 2014;9(2):144-8.
55. Dawood AE, Parashos P, Wong RHK, Reynolds EC, Manton DJ. Calcium silicate-based cements: composition, properties, and clinical applications. *Journal of investigative and clinical dentistry*. 2017;8(2):1-15. doi: 10.1111/jicd.12195
56. Silva Almeida LH, Moraes RR, Morgental RD, Pappen FG. Are Premixed Calcium Silicate-based Endodontic Sealers Comparable to Conventional Materials? A Systematic Review of In Vitro Studies. *Journal of Endodontics*.2017;43(4):527-35. doi: 10.1016/j.joen.2016.11.019
57. Gite R, Chandak M. Comparative Evaluation of Response of Human Dental Pulp On Direct Pulp Capping With MTA, ERRM (Endosequence Root Repair Putty Material). *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences*. 2016;15(6):52-7.