

Yazışma adresi
Correspondence address

Müge ALİ METİNER
İstanbul Üniversitesi,
Sağlık Bilimleri Enstitüsü,
İstanbul, Türkiye
mugeali90@gmail.com

Geliş tarihi : 16 Mart 2023

Received

Kabul tarihi : 11 Mayıs 2023

Accepted

E-Yayın tarihi : 30 Aralık 2023

Online published

Bu makalede yapılacak atf
Cite this article as

Ali Metiner M, Aktören O.
Çocuk diş hekimliğinde
biyoseramik materyaller
Akd Diş Hek D 2023;2(3): 151-161

Müge ALİ METİNER
İstanbul Üniversitesi,
Sağlık Bilimleri Enstitüsü,
İstanbul, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-2239-3410

Oya AKTÖREN
İstanbul Üniversitesi,
Diş Hekimliği Fakültesi,
Pedodonti AD.,
İstanbul, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-4005-5925

Çocuk Diş Hekimliğinde Biyoseramik Materyaller

Bioceramic Materials in Pediatric Dentistry

ÖZ

Biyoseramikler dokuların rejenerasyonu, onarımı ya da replasmanı için özel olarak tasarlanmış materyallerdir ve günümüzde çeşitli medikal ya da diş hekimliği tedavi prosedürlerinde kullanılmaktadır. Biyouyumlu, biyoaktif ve rejeneratif özellikleri nedeniyle biyoseramik materyaller çocuk diş hekimliğinde süt ve sürekli dişlerin vital pulpa tedavilerinde, genç sürekli dişlerin apeksifikasyon tedavilerinde, rejeneratif endodontide, rezorpsiyon-perforasyon onarımlarında uygulanabilmektedir. Son yirmi yılda endodontik prosedürlerde kullanılmak üzere farklı içerik ve özelliklere sahip çeşitli ticari biyoseramik materyalin geliştirildiği görülmektedir. Bu derlemede, çocuklarda endodontik tedavi prosedürlerinde kullanılabilen biyoseramik materyallerin belirtilmesi, fizikokimyasal ve biyolojik özelliklerinin vurgulanması amaçlanmıştır.

Anahtar Sözcükler:

Biyoseramik materyal, Vital pulpa tedavisi, Endodonti, Diş Hekimliği

ABSTRACT

Bioceramics, the biocompatible materials specially designed to regenerate, repair or replace the tissues, are used today in various medical or dental procedures. In pediatric dentistry, the bioceramic materials can be applied in vital pulp therapies of primary and permanent teeth, apexification treatments of immature teeth, regenerative endodontics and furcation-resorption repairs due to their biocompatible, bioactive and regenerative properties. In the last two decades, it has been observed that several commercial bioceramic materials with different contents and properties were developed for endodontic procedures. This review focuses on overview of bioceramics used today in endodontic treatment procedures of children, and emphasizes their physicochemical and biological properties.

Key Words:

Bioceramic material, Vital pulp therapy, Endodontics, Dentistry

GİRİŞ

Biyoseramikler, vücudun zarar gören ve işlevini yitiren dokuların onarımı, yeniden yapılandırılması ya da dokunun yerini alabilmesi amacı ile özel olarak tasarlanmış materyallerdir. Alümina, zirkonya, biyoaktif cam, cam seramikler, hidroksiapatit, kalsiyum fosfat içerikli biyoseramik materyaller etkileşime girdikleri dokularda biyoaktif ya da biyo inert etkiler oluşturabilmektedir (1). Biyoyumlu özelliklere ve nanokristal yapıya sahip olan biyoseramiklerin medikal ve diş hekimliği tedavi prosedürlerinde kullanımının günümüzde arttığı görülmektedir. Biyoseramik materyaller; eklem protezlerinde, doku replasmanlarında ve metal implantlarda kaplama materyali olarak, poröz yapıdaki kalsiyum fosfat içerikli biyoseramikler ise kemik grefti olarak uygulanabilmektedir (2).

Diş hekimliğinde biyoseramikler, pulpa dokusunda mineralizasyonu indüklemeleri ve nitelikli sert doku bariyeri oluşturmaları, doku onarımını stimüle etmeleri, kanal obturasyonu sonrası kök direncini arttırmaları, antibakteriyel etki göstermeleri, yüksek pH'a ve hidrofilik özelliklere sahip olmaları nedenleri ile farklı endodontik prosedürlerde kullanılabilirler (3). Biyoaktif, biyoyumlu, üstün fizikokimyasal özellikler gösteren biyoseramik dental materyallerin; vital pulpa tedavilerinde, apeksifikasyon tedavisinde, kök kanal obturasyonunda, rejeneratif endodontide, furkasyon ve kök perforasyonu onarımlarında uygulandığında başarılı sonuçlar oluşturması ile günümüzde çocuk diş hekimliğinde kullanımının yaygınlaştığı görülmektedir. Biyoseramik materyallerin biyoyumluluk ve sızdırmazlık özelliklerinin yüksek olması ve antimikrobiyal etki gösterebilmeleri tedavilerin başarılarında önem taşımaktadır (4-5).

Biyoseramiklerin tarihçesi incelendiğinde, biyoseramiklerin aktif bir bileşeni olan kalsiyum fosfat ilk kez siman olarak LeGeros ve ark. (6) tarafından kullanılmıştır. Kök kanal patı olarak ise Krell ve Wefel tarafından kullanıldığı belirtilmektedir. Çalışmalarda kalsiyum fosfat simanın apikal sızdırmazlık sağlamada Grossman patı kadar başarılı olmadığı; ancak adezyon, kohezyon, adaptasyon açısından 2 pat arasında anlamlı farklılıkların bulunmadığı öne sürülmüştür (7). Chohayeb ve ark. (8) 1987 yılında kalsiyum fosfat simanın kanal dolgu maddesi olarak dentin duvarlarına güta perkaya göre daha düzgün ve sıkı bir uyum sağladığını belirtmişlerdir. Kalsiyum fosfat simanın furkasyon perforasyonu onarımı gibi farklı endodontik işlemlerde de kullanılacağı ve başarılı sonuçlar elde edilebileceği öne sürülmüştür (9).

Biyomühendisliğin son 20 yılda gelişmesi ile birlikte, dokularla iyi etkileşime girdikleri, kimyasal olarak stabil oldukları, sızdırmazlık ve fizikokimyasal özelliklerinin üstün olması nedenleri ile farklı içerik ve formülasyonlarda toz/likit ya da önceden karıştırılmış pat formlarında çeşitli biyoseramik esaslı endodontik materyallerin geliştirilmesi hız kazanmıştır (10). Bu derlemede, çocuklarda endodontik tedavi prosedürlerinde günümüzde kullanılması önerilen

çeşitli biyoseramik materyallerin tanımlanması, fizikokimyasal ve biyolojik özelliklerinin bildirilmesi amaçlanmıştır.

Mineral Trioksit Aggregate (MTA)

MTA Torabinejad ve ark. tarafından geliştirilen ve 1998 yılında Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) tarafından onaylanan, uygun fizikokimyasal özelliklere sahip ilk biyoseramik esaslı endodontik tedavi materyalidir. Diş hekimliğinde kullanılan ilk kalsiyum silikat içerikli siman olarak tanımlanan MTA, hidrofilik partiküller içeren ve nem varlığında sertleşebilen tozdan oluşmaktadır (11). MTA saflaştırılmış Portland çimentosu, bizmut oksit karışımı olarak belirtilebilmekte ve içeriğindeki trikalsiyum silikat, dikalsiyum silikat ve trikalsiyum alüminat materyalin ana bileşenleri olarak tanımlanmaktadır (12). ProRoot MTA (Dentsply Tulsa OK, ABD) ilk ticari MTA preparatıdır. Beyaz ve gri MTA benzer bileşimlere sahiptir; ancak içeriklerinde alüminyum, magnezyum ve demir farklı oranlarda bulunmaktadır. Beyaz MTA'da gri MTA'ya göre daha az demir olduğu ve tetra kalsiyum alümino ferrit bulunmadığı belirtilmektedir (13).

MTA'nın su ile karıştırılması sonrası pH değeri 10,2 iken, 3 saat sonra bu değer 12,5'e yükseldiği ve bu değerde kaldığı bildirilmektedir. Yüksek pH değeri sert doku oluşumunu indüklemekte ve materyale antibakteriyel etkinlik kazandırmaktadır. MTA'nın tozu steril su ile 3/1 oranında karıştırıldığında MTA'nın çalışma süresi yaklaşık 5 dakika ve toplam sertleşme süresinin 165 ± 5 dakika olduğu rapor edilmiştir (14). MTA'nın mikrosertliği; ortamdaki pH, kondansasyon basıncı, materyal kalınlığı, nem, ısı, materyalin asitle pürüzlendirilmesi gibi faktörlerden etkilenmektedir. Namazikhah ve ark. (15) pH değeri aside doğru kaydıka, MTA'nın mikrosertliğinin azaldığını belirtmişlerdir. MTA'nın saklandığı koşulların ve ortam ısısının mikrosertliğe olan etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, sıcaklığın artması ile birlikte MTA'nın sertliğinin arttığı belirtilmiştir (16).

MTA'nın farklı materyallere bağlanma kuvveti farklı bekleme sürelerinde ve farklı adeziv sistemler kullanılarak değerlendirilmiştir. MTA'nın, karıştırma sonrasındaki bekleme süresi arttırıldığında ve (*self-etch*) adeziv sistemler yerine (*etch and rinse*) adeziv sistemler kullanıldığında kompozit rezine bağlanma kuvvetinin arttığı ileri sürülmüştür (17). Vital pulpa tedavilerinde ve kök ucu dolgu materyalleri olarak kullanılacak dental materyallerin sitotoksik özelliklerinin vital pulpa ya da periapikal dokular tarafından tolere edilebilecek düzeyde olması önem taşımaktadır. MTA'nın vital pulpa dokusunda mineralizasyonu indüklediği ve pulpa canlılığını koruma potansiyeline sahip olduğu kanıtlanmıştır (18-19). MTA'nın pulpa ve periapikal dokular tarafından iyi tolere edilebilen bir materyal olduğu ve sert doku oluşumunu indüklediği belirtilmiştir. Torabinejad ve ark. (20) MTA'nın sement oluşumunu desteklediği, amalgam, IRM ve Super EBA'ya kıyasla biyoyumluluğunun daha yüksek olduğunu

bildirmişlerdir. Antimikrobiyal aktivitenin ortamdaki hidroksil iyonlarının artması ve pH yükselmesi ile ilişkili olduğu belirtilmektedir. MTA'nın *C. albicans*, *F. nucleatum*, *S. aureus* ve *E. faecalis*'e karşı antimikrobiyal etki gösterdiği; MTA'nın su ile karıştırılması sonrası oluşan karışımda artan oksijen miktarının anaerobik mikroorganizmalar üzerinde etkili olduğu öne sürülmüştür (21).

MTA Angelus

MTA Angelus (Angelus Lodrina, PR, Brezilya), %20 bizmut oksit ve %80 Portland simanından oluşur. Yaklaşık 14 dakikada sertleşebilen MTA Angelus'un sertleşme süresi beyaz MTA ve gri MTA'nın sertleşme süresine göre daha azdır (22). Parirokh ve Torabinejad (23) MTA Angelus'un karıştırma sonrası 168 dakika içinde gri MTA'dan daha yüksek pH değeri ve kalsiyum iyonu salınımı oluşturduğunu bildirmişlerdir. Reyes-Carmona ve ark. (24) kalsiyum salınımının MTA Angelus'ta daha düşük olduğunu öne sürmüşlerdir. Pereira ve ark. (25) MTA Angelus'un test edilen tüm materyallere kıyasla kök dentinine daha iyi bağlanma sağladığını bildirmişlerdir. Ribeiro ve ark. (26) gri ve beyaz MTA Angelus'un Çin hamsteri yumurtalık hücrelerinde sitotoksik ve genotoksik etki oluşturmadığını belirtmişlerdir. Sipert ve ark. (27) MTA Angelus'un *E. coli* ve *E. faecalis* gibi mikroorganizmalar üzerindeki antimikrobiyal özelliklerini incelemişler ve MTA Angelus'un *E. coli* dışında tüm mikroorganizmalara karşı etkili olduğunu bildirmişlerdir.

MTA Plus

ProRoot MTA'ya benzer bir bileşime sahip olan MTA Plus (Avalon Biomed Inc., Bradenton, FL, ABD), kalsiyum silikat esaslı bir materyaldir. Trikalsiyum ve dikalsiyum silikat esaslı olan bu materyal, jel ile karıştırıldığında kanal patı olarak kullanılabilir. Toz ve jel oranlarında değişiklik yapılarak farklı sertleşme süreleri ve fiziksel özellikler elde edilebilmektedir (28-29).

MTA Plus, ProRoot MTA'ya göre daha uzun süre kalsiyum iyonu salınımı yapar ve bu nedenle pH'ı yükselttiği belirtilmektedir. İyon salma özelliği, ince toz yapısına sahip olması, gözenekliliği, su emilimi ve çözünürlüğü kalsiyum fosfat minerallerinin oluşumu ile ilişkilidir (28). Çözünürlüğü Dycal, ProRoot MTA, MTA Angelus ve Biodentine'den daha azdır; su emilimi ve porozitesi ProRoot MTA ve Biodentine'e benzer, MTA Angelus'dan ise daha düşüktür (30). Gri ve beyaz MTA Plus'ın sıçan odontoblast benzeri hücrelerde (MDPC-23) sitotoksitesite riskinin az olduğu belirtilmiştir (31). Pulpotomide MTA Plus kullanıldığında, 30. ve 60. günlerde dentin köprüsü oluşumu saptanmış ve 60 gün sonra pulpa dokusunun canlı olduğu gösterilmiştir (32). MTA Plus, pulpa kaplama materyali olarak ProRoot MTA'ya eşdeğer özellikler göstermiştir (33,34).

MTA Fillapex

MTA Fillapex (Angelus) kalsiyum silikat esaslı bir biyosera-mik paktır (35). MTA Fillapex rezin bazlı patların fizikokimyasal özelliklerinin MTA'nın biyolojik özellikleri ile kombine edilmesi amacıyla üretilmiştir. MTA Fillapex; MTA, salisilat rezin, doğal rezin, bizmut ve silikatın karışımından oluşur. Uygun çalışma süresine, yüksek radyoopaklığa ve kolay manipulasyona sahip olduğu belirtilmektedir (36). MTA Fillapex iRoot SP'ye benzer şekilde, yüksek çözünürlük, pH ve kalsiyum iyon salınımı gösterir; yüksek pH'sı ve çözünürlüğü sayesinde antibakteriyel etkiye sahiptir ve AH Plus'a göre radyoopaklığı daha düşüktür. MTA Fillapex'in bağlanma direncinin AH Plus, iRoot SP ve benzeri patlara göre düşük olduğu bildirilmiştir (37).

MTA Fillapex çift enjektörlü sisteme sahiptir. Enjektör sisteminin ucuna yerleştirilen karıştırma ucu patın doğru oranda ve homojen şekilde karıştırılarak kanal içerisine uygulanabilmesine olanak tanır. Patın akışkan yapısı nedeniyle yan kanallara ulaşabildiği, sızdırmaz özelliğe sahip olduğu, inflamatuvar reaksiyona sebep olmadan doku onarımını indüklediği ve kalsiyum iyonu salınımı ile dokuda iyileşme oluşturduğu rapor edilmiştir (38).

NeoMTA Plus

NeoMTA Plus (Avalon Biomed) son dönemlerde üretilmiş olan ve ilk üretilen MTA'nın dezavantajlarını taşımayan materyal olarak nitelendirilmektedir (39). Materyal trikalsiyum silikat, dikalsiyum silikat, tantalit ve kalsiyum sülfat içermekte; radyoopaklaştırıcı olarak bizmut oksit yerine tantalum oksit bulunmaktadır (40). NeoMTA Plus toz ve likitin karıştırılması ile kullanılmaktadır. Çalışma süresinin oda sıcaklığında 20 dakika olduğu; daha fazla jel eklenerek çalışma süresinin uzadığı belirtilmektedir. Sertleşme süresinin 37 °C'de 1 saatten az olduğu bildirilmiştir. Sertleşme reaksiyonu nem varlığında gerçekleşmektedir (41). En önemli avantajı dişlerde renkleşme yapmamasıdır. Partikül boyutu geleneksel MTA ile karşılaştırıldığında daha küçüktür (42). NeoMTA Plus'ın toz/likit oranının özelliklerine önemli etkisi olduğu belirtilmektedir. NeoMTA Plus bakteri sızıntısını önleme, radyoopasite ve sızdırmazlık gibi özelliklere sahiptir. Kök tamir materyali olarak da kullanılabilceği ileri sürülmektedir (43).

NeoPutty

NeoPutty (Avalon) önceden karıştırılmış klinik uygulamaya hazır trikalsiyum silikat esaslı bir materyaldir. Kalsiyum silikat esaslı hidrofilik simanların karıştırılması sırasında oluşabilen heterojen kıvam dezavantajının kaldırılması amacı ile üretilmiştir. NeoPutty'nin içeriğinde; trikalsiyum silikat, dikalsiyum silikat ve tantalum oksit bulunduğu; radyoopaklaştırıcı olarak tantalum oksit içerdiği ve sertleşme zamanının 37 °C'de yaklaşık 4 saat olduğu belirtilmektedir (44). NeoPutty'nin Biodentine ve MTA'nın uygulandığı tüm endodontik tedavilerde başarı ile kullanılabildiği bildirilmektedir. Dış dokularına uygulandıktan sonra materyalin sertleşme süresine gereksinim olsa da restorasyonun hemen tamamlanabileceği öne

sürülmektedir. Theracal LC, Neo MTA 2 ve NeoPutty'nin ortalama bağlanma değerlerinin sırası ile 23.32 Mpa, 12.17 Mpa, 11.37 Mpa olduğu rapor edilmiştir. Biodentine, MTA Repair HP ve NeoPutty'nin kök dentinine bağlanma dayanım değerleri karşılaştırıldığında NeoPutty'nin düşük bağlanma dayanımı gösterdiği öne sürülmüştür (45,46).

Biodentine

Biodentine (Septodont, Saint-Maur-des-Fosses, Fransa) trikalsiyum silikat içerikli bir materyaldir; MTA'da gözlenen bazı dezavantajlara karşın 2011 yılında yeni bir trikalsiyum silikat içerikli siman olarak kullanıma sunulmuştur. Dentine eşdeğer özellikte bir materyal olduğu; toz formunda trikalsiyum silikat, dikalsiyum silikat, kalsiyum karbonat, demir oksit ve zirkonyum oksit gibi doldurucular bulunduğu belirtilmektedir (47). Biyouyumlu dentin materyali olarak tasarlanmış olan Biodentin'in sertleşme süresi 9-12 dakika olarak bildirilmektedir (48). Biodentine sızdırmazlık yeteneğine, biyouyumluluğa, stabiliteye, düşük çözünürlüğe, hızlı sertleşme süresine, sert doku rejenerasyonunu indüklemeye potansiyeline ve yüksek pH'ı ile üstün antimikrobiyal özelliklere sahip bir materyal olarak tanımlanmaktadır (49,50).

Biodentine, fiziksel özellikleri ve sertleşme süresinin uygunluğu açısından MTA'ya göre avantaj oluşturmaktadır. MTA'ya göre daha yoğun ve daha az poröz yapıdadır. Elastisite modülünün MTA'dan daha yüksek olduğu ve dentin ile benzer özellikler gösterdiği tespit edilmiştir (48). Biodentin'in likit formunun içerisinde bulunan polimerin ve daha düşük toz/likit oranı ile karıştırılmasının avantaj oluşturduğu; bu durumun materyalin baskı kuvvetlerine karşı dayanımını ve yüzey sertliğini MTA ve BioAggregate'a kıyasla arttırdığı belirtilmiştir (41).

Biodentine yüksek düzeyde biyouyumlu ve toksik olmayan bir materyaldir (51). Biodentin; BioAggregate ve MTA'nın dental pulpa hücreleri üzerine oluşturduğu proliferasyon, anjiogenezis ve biyomineralizasyon nedeniyle osteojenik ve odontojenik kapasitelerinin benzer olduğu rapor edilmiştir (52). Singh ve ark. (53) Biodentine'in kuafaj tedavilerinde mezenkimal hücrelerin fonksiyonları üzerinde herhangi bir olumsuz etki oluşturmadığını bildirmişlerdir. Sıçan dişlerinde pulpa kaplama materyali olarak kullanıldığında, Biodentine, BioAggregate ve MTA'nın dentin köprüsü oluşturmaları açısından anlamlı fark oluşturmadığı öne sürülmüştür (54). MTA, Biodentine ve cam iyonomerin hücre canlılığına etkileri flow sitometri ile incelendiği çalışmada; en yüksek canlılık değerlerin Biodentin ve MTA gruplarında, en düşük canlılığın ise cam iyonomer grubunda tespit edildiğini, Biodentin ve MTA arasında ise anlamlı bir farklılık bulunmadığı öne sürülmüştür (55). Çalışmalar Biodentine'in biyoaktif olduğunu ve vital pulpa tedavisinde başarı oluşturduğunu göstermiştir (56,57). Biodentine'in vital pulpa tedavilerinde kullanımının araştırıldığı bir çalışmada, kök hücrelerin odontoblast benzeri hücrelere farklılaşması üzerindeki etkisi ve oluşan dentin köprüsünün niteliği, oluşturduğu

enflamasyonun minimum düzeyde ve pulpa tarafından tolere edilebilir olması nedenleri ile kalsiyum hidroksit ve MTA'dan daha başarılı bulunduğu öne sürülmüştür (58). Süt dişlerinde pulpotomide kullanılmasının başarılı sonuçlar oluşturduğu rapor edilmiştir (59,60). Süt dişi pulpotomisinde MTA, Biodentine, formokrezolün başarıları karşılaştırılmış ve benzer sonuçlar elde edilmiştir (61,62). Biodentine uygulanan dentin derin düzeylerinde kalsiyum iyonu miktarının MTA'ya göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (63).

Çeşitli irrigasyon solüsyonlarına maruz bırakılan Biodentine'in MTA'ya göre daha yüksek bağlanma dayanımı sergilediği bildirilmiştir (64). Renkleşme potansiyelinin araştırıldığı çalışmada; sıgır dişlerine yerleştirilen Biodentine'in 1 yıllık takibi sonucunda BioAggregate ve MTA Angelus'a göre daha az renklendirme oluşturduğu tespit edilmiştir (65).

BioAggregate

BioAggregate (Innovative BioCeramix Inc, Kanada) kalsiyum silikat içerikli bir materyal olarak kalsiyum silikat hidrat, kalsiyum hidroksit, hidroksiapatit, silika ve tantalum oksit içerir. Sertleşme süresi 4 saat olan BioAggregate alüminyum içermez. Materyal tozunun deiyonize su ile karıştırılması sonucu kalsiyum silikat jeli ve kalsiyum hidroksitten oluşan bir yapı oluşur. Kalsiyum silikat jeli hidroksiapatit ile birlikte sızdırmaz bir yapının oluşumuna katkıda bulunur (66). BioAggregate; homojen, yuvarlak ve küçük partiküller içeren yüksek spesifik yüzey alanı ile karakterizedir; üstün fizikokimyasal özelliklere sahip bir materyal olarak kabul edilir (67). Seramik nano parçalar içeren beyaz tozun likiti ile karıştırılması ile oluşan hidrofilik yapıdaki materyal sementogenezisi uyararak kök kanallarında hermetik bir tıkama sağlar; bakteri invazyonunu engeller. BioAggregate'ın çalışma zamanının toz/likit karıştırılması sonrası 5 dakika olduğu ve manipülasyonunun ise kolay olduğu belirtilmektedir.

Hashem ve ark. (68) BioAggregate ve MTA'nın asidik ortamın perforasyon onarımında itme bağlanma dayanımına etkisini değerlendirdikleri çalışmada; MTA'nın BioAggregate'a göre asidik ortamdan daha çok etkilendiği, adezyon özellikleri açısından ise MTA'nın Bioaggregate'a göre daha yüksek performans gösterdiği öne sürülmüştür. Saghiri ve ark. (69) BioAggregate ve beyaz MTA'nın bağlanma dayanımlarını karşılaştırmışlar ve MTA'nın dayanımının daha yüksek olduğunu rapor etmişlerdir. BioAggregate ve MTA Angelus'un bağlanma dayanımları açısından bir farklılık bulunmadığı belirtilmiştir (70). BioAggregate, gutta perka, amalgam, IRM, WMTA'nın mikrosızıntı açısından karşılaştırıldığı çalışmada en az mikrosızıntının Bioaggregate grubunda saptandığı bildirilmiştir (71). BioAggregate'ın perforasyon onarımlarında ve vital pulpa tedavilerinde pulpa kaplama materyali olarak kullanılabileceği belirtilmektedir (72). BioAggregate'ın sitotoksitesinin değerlendirildiği çalışmalarda, kabul edilebilir derecede biyouyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Hayvanlar üzerinde yapılan bir çalışmada beyaz MTA'nın sitotoksitesinin BioAggregate'dan daha iyi olduğu; MTA Angelus ile BioAggregate arasında sitotoksitesite açısından bir farklılık olmadığı belirtilmiştir (69). BioAggregate ve MTA'nın pulpa ve periodontal ligament hücrelerinin gelişimine etkisinin incelendiği bir çalışmada, MTA örneklerinin çevresinde inhibisyon zonu gözlemlendiği, BioAggregate örneklerinin çevresinde ise inhibisyon zonu gözlemlenmediği; BioAggregate'ın pulpa ve periodontal ligament hücrelerinde toksik etki oluşturmadığı belirtilmiştir (73).

Endosequence RRM ve iRoot BP Plus

Kök tamir materyali olarak bilinen EndoSequence RRM (ERRM) (Brasseler Dental, ABD) pat veya putty formda bulunan biyoseramik esaslı bir materyaldir. ERRM putty, iRoot BP Plus (Innovative BioCeramix Inc.) olarak da belirtilmektedir. Materyal trikalsiyum silikat, zirkonyum oksit, tantalum oksit, kalsiyum fosfat monobazik içermektedir. ERRM, yaklaşık 30 dakikalık bir çalışma süresi ve 4 saate yakın bir sertleşme süresine sahiptir. Materyal nemli ortamda sertleşir. Yüksek pH derecesinin sertleşme reaksiyonu sırasında antibakteriyel etki gösterdiği ve pH değerinin 12.4 olduğu belirtilmiştir. (68). Putty ve pat formlarında bulunan ERRM'nin mikrosertliğinin asidik koşullarda azalabileceği bildirilmiştir. SEM incelemesinde, ERRM putty örneklerinde pH 7.4'te pul benzeri yapılar, pH 5.4'te boş gözenekler gözlemlendiği; ERRM patı örneklerinde pH 5.4'te daha gözenekli yapılar, pH 7.4'te ise daha kristalize yapılar gözlemlendiği öne sürülmüştür (74). ERRM'nin sitotoksitesite analizi için farklı hücre serileri kullanılarak yapılan *in vitro* çalışmalarda, MTA Angelus ve MTA'ya benzer seviyede düşük sitotoksitesite gösterdiği tespit edilmiştir (75). iRoot BP Plus'ın insan dental pulpa hücrelerinde toksik olmadığı, odontoblastik farklılaşma ve mineralizasyon ile gen ekspresyonunu indükleyebildiği; BioAggregate ve iRoot BP Plus arasında anlamlı bir fark olmadığı saptanmıştır (76). MTA ve iRoot BP Plus'ın pulpada enflamasyona sebep olmadığı, kalsifik bariyer oluşturduğu bildirilmiştir (77).

ProRoot MTA ve ERRM'nin antibakteriyel etkinliklerinin incelendiği bir çalışmada, planktonik *E. faecalis* hücreleri üzerinde benzer bir etkiye sahip olduğu gösterilmiştir. ProRoot MTA ve ERRM'nin karşılaştırılabilir miktarda antifungal aktivitesi olduğu bildirilmiştir (78).

Theracal PT ve Theracal LC

Theracal PT

Theracal PT (Bisco Inc, ABD) son yıllarda dentin pulpa kompleksinin ve diş canlılığının korunmasında pulpa kaplama materyali olarak kullanılabilen öne sürülen rezin modifiye kalsiyum silikat esaslı bir materyal olarak tanımlanmaktadır (79). Materyalin pulpotomide, direkt ve indirekt kuafaj tedavilerinde kaplama materyali olarak kullanılabilen bildirilmektedir. Üreticiye göre Theracal PT, dentin pulpa kompleksini korumak için bir bariyer görevi görerek pulpa dokusunun canlılığını korur (80). Theracal PT, Theracal LC ve MTA Angelus'un dental pulpa

kök hücrelerindeki (hDPSCs) biyoyumluluğu karşılaştırmalı olarak değerlendirildiği bir *in vitro* çalışmada, MTA Angelus ve Theracal PT'nin dental pulpadaki kök hücreler üzerinde Theracal LC'ye göre biyoaktif özelliklerinin daha başarılı olduğu gözlemlenmiş ve Theracal PT'in vital pulpa tedavilerinde başarı ile kullanılabilen öne sürülmüştür (79). Bu rezin içerikli kalsiyum silikat simanlar, düşük çözünürlük, yüksek fiziksel özellik ve klinikte kolay kullanım gösterirler. Ancak ışıkla sertleşme esnasında polimerizasyon büzülmesine bağlı olarak dentin dokusundan uzaklaşabilirler (81).

Theracal LC

Pulpa kuafaj materyali olarak tasarlanan TheraCal LC (Bisco Inc.), kalsiyum silikat içeren ışıkla sertleşen rezin modifiye materyaldir. TheraCal LC'nin içeriğinde tip III Portland simanı, polimerize olabilen metakrilat monomerleri, kalsiyum oksit, polietilen glikol dimetakrilat, baryum zirkonat ve baryum sülfat bulunmaktadır. Theracal LC hidrofilik yapısı nedeni ile su ile temas ettiğinde sertleşmeye başlamaktadır. Opak ve beyazımsı renkte olan TheraCal LC'in 1 mm'lik katmanlar şeklinde yerleştirilmesi ve 20 saniye ışınlanması önerilmektedir (82). TheraCal LC'in karıştırıldıktan 3 saat sonraki pH'nın 10.66 olduğu, 24 saat sonra ise pH'nın azaldığı ve 9.85 olduğu belirtilmiştir (83).

Theracal LC'nin kalsiyum salınımı yapma özelliği olduğu ve bu özelliğin mineralize doku oluşumunda önemli rol oynadığı bildirilmektedir (84). TheraCal LC, antibakteriyel adeziv olan Protect Bond ve cam iyonomer simanın direkt pulpa kuafajında uygulandığı bir çalışmada, dişler 2 yıl süre klinik olarak takip edilmiştir. TheraCal LC'nin %93.3, Protect Bond'un %83.3 ve cam iyonomer simanın %66.6 başarı gösterdiğini belirtmişlerdir (32). Poggio ve ark. (31) farklı pulpa kuafaj materyallerinin antimikrobiyal aktivitelerini agar difüzyon testleri kullanarak karşılaştırdıkları çalışmada, Dycal ve TheraCal LC karşılaştırıldığında *S. sanguis* ve *S. salivarius* üzerinde anlamlı derecede daha az antimikrobiyal etki, *S. mutans* üzerinde ise Dycal ile benzer antimikrobiyal aktivite gösterdiğini bildirmişlerdir.

Endosequence BC Sealer ve iRoot SP

Endosequence BC Sealer (Brasseler Dental, ABD) kalsiyum fosfat, trikalsiyum silikat, koloidal silikat, dikalsiyum silikat, zirkonyum oksit, kalsiyum hidroksit ve kalsiyum silikattan oluşan, önceden karıştırılmış, kullanıma hazır bir biyoseramik kök kanal patıdır ve iRoot SP kök kanal patı (Innovative BioCeramix Inc.) olarak da tanımlanabilir (85). İçeriğinde bulunan zirkonyum oksitin radyoopaklık verdiği belirtilmektedir (86). Materyalin bileşenleri su içermeyen taşıyıcı içerisinde karıştırılmış olarak bulunmakta; ancak materyalin sertleşmesi için su gerekmektedir. Dentin tübüllerindeki nem Endosequence BC Sealer'ın sertleşmesinin başlamasını sağlamaktadır. Kalsiyum fosfat ile kalsiyum hidroksit reaksiyonu ile açığa çıkan su, materyal tarafından emilerek kalsiyum silikat hidrat fazı oluşur (87). Hidroksiapatit kristalleri bu fazda çökelirken dentin duvarları ile sealer arasında bağ oluşumu da gerçekleşir (88).

Üretici firma çalışma süresinin oda sıcaklığında 4 saat, sertleşme süresinin 4-10 saat olduğunu belirtmektedir; ancak çalışmalarda sertleşme reaksiyonunun tamamlanması için daha fazla süre gerektiği öne sürülmektedir (29). iRoot SP'nin MTA Fillapex, Epiphany ve AH Plus'a göre daha yüksek bağlanma direnci gösterdiği rapor edilmektedir (89). Endosequence BC Sealer'ın gösterdiği sitotoksitenin zamana bağlı olarak değiştiği; sertleşirken az derecede sitotoksik etki gösterdiği, sertleştikten sonra ise non-sitotoksik bulunduğu öne sürülmüştür (90). iRoot SP'in MTA'ya kıyasla indükleyici kapasitesinin daha az, AH Plus'a göre ise daha yüksek olduğu bildirilmiştir (91).

SONUÇ

Biyoseramik materyallerin üstün fizikokimyasal ve biyolojik özellikler göstermeleri nedeniyle günümüzde endodontik prosedürlerde kullanımlarının arttığı görülmektedir. Biyoseramikler; vital pulpa tedavileri, apeksi açık dişlerde apikal tıkaç ve apikal bariyer oluşturma, kök kanal obturasyonu ve retrograd dolgu, furkasyon ve kök perforasyonu onarımları gibi farklı endodontik uygulamalarda kullanılabilir. Deneysel çalışmaların biyoseramik materyallerin fiziksel ve biyolojik özelliklerine ilişkin kapsamlı veriler sağlayabildiği ancak *in vitro* çalışmalarda elde edilen sonuçların klinik çalışmalar ile desteklenmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Biyoseramik materyallerde gözlenebildiği bildirilen olumlu özelliklerinin korunması, bildirilen olumsuz özelliklerinin ise içerik ve formülasyon değişiklikleri ile gelecek deneysel araştırmalar ile iyileştirilmesi hedeflenmektedir.

Yazar Katkıları:

Fikir - M.A.M.; O.A.; Veri Toplanması ve/veya İşlemesi -M.A.M.; O.A.; Analiz ve/veya Yorum - M.A.M.; O.A.; Literatür Taraması - M.A.M.; O.A.; Yazıyı Yazan - M.A.M.; O.A.; Eleştirel İnceleme - M.A.M.; O.A.

Çıkar Çatışması:

Yazarların beyan edecek çıkar çatışması yoktur.

Finansman veya Mali Destek:

Yazarlar bu çalışma için finansal destek almadıklarını beyan etmişlerdir.

Etik Kurul Onayı:

Bu çalışma için gerekmemektedir.

1. Best S, Porter A, Thian E, Huang J. Bioceramics: past, present and for the future. *J Eur Cer Soc.* 2008;28:1319-27.
2. Vallet-Regí M. Evolution of bioceramics within the field of biomaterials. *Comptes Rendus Chimie.* 2010;13:174-85.
3. Koch K, Brave D, Nasseh AA. A review of bioceramic technology in endodontics. *CE article.* 2012;4:6-12.
4. Mondelli JAS, Hoshino RA, Weckwerth PH, Cerri PS, Leonardo RT, Guerreiro-Tanomaru JM, et al. Biocompatibility of mineral trioxide aggregate flow and biodentine. *Int Endod J.* 2019;52:193-200.
5. Jardine AP, Montagner F, Quintana RM, Zaccara IM, Kopper PMP. Antimicrobial effect of bioceramic cements on multispecies microcosm biofilm: a confocal laser microscopy study. *Clin Oral Investig.* 2019;23:1367-72.
6. Geros R, Chahayeb A, Shulman A. Apatite calcium phosphates: possible dental restoration materials. *J Dent Res.* 1982;61:343-7.
7. Al-Haddad A, Che Ab Aziz ZA. Bioceramic-based root canal sealers: a review. *Int J Biomater.* 2016;2016.
8. Chohayeb AA, Chow LC, Tsaknis PJ. Evaluation of calcium phosphate as a root canal sealer-filler material. *J Endod.* 1987;13:384-7.
9. Chau JY, Hutter JW, Mork TO, Nicoll BK. An in vitro study of furcation perforation repair using calcium phosphate cement. *J Endod.* 1997;23:588-92.
10. Raghavendra SS, Jadhav GR, Gathani KM, Kotadia P. Bioceramics in endodontics - a review. *J Istanbul Univ Fac Dent.* 2017;51:S128-37.
11. Parirokh M, Torabinejad M, Dummer PMH. Mineral trioxide aggregate and other bioactive endodontic cements: an updated overview - part I: vital pulp therapy. *Int Endod J.* 2018;51:177-205.
12. Kaup M, Schafer E, Dammaschke T. An in vitro study of different material properties of Biodentine compared to ProRoot MTA. *Head Face Med.* 2015;11:16.
13. Song JS, Mante FK, Romanow WJ, Kim S. Chemical analysis of powder and set forms of Portland cement, gray ProRoot MTA, white ProRoot MTA, and gray MTA-Angelus. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2006;102:809-15.
14. Parirokh M, Torabinejad M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review-Part I: chemical, physical, and antibacterial properties. *J Endod.* 2010;36:16-27.
15. Namazikhah M, Nekoofar MH, Sheykhrezae M, Salariyeh S, Hayes SJ, Bryant ST, Mohammadi MM, Dummer PMH. The effect of pH on surface hardness and microstructure of mineral trioxide aggregate. *Int Endod J.* 2008;41:108-16.
16. Saghiri MA, Lotfi M, Joupari MD, Aeinehchi M, Saghiri AM. Effects of storage temperature on surface hardness, microstructure, and phase formation of white mineral trioxide aggregate. *J Endod.* 2010;36:1414-8.
17. Atabek D, Sillelioglu H, Ölmez A. Bond strength of adhesive systems to mineral trioxide aggregate with different time intervals. *J Endod.* 2012;38:1288-92.
18. Thanatvarakorn O, Nakajima M, Prasansutti-porn T, Ichinose S, Foxton RM, Tagami J. Effect of smear layer deproteinizing on resin-dentine interface with self-etch adhesive. *J Dent.* 2014;42:298-304.
19. Zhu C, Ju B, Ni R. Clinical outcome of direct pulp capping with MTA or calcium hydroxide: a systematic review and meta-analysis. *Int J Clin Exp Med.* 2015;8:17055-60.
20. Torabinejad M, Ford TR, Abedi HR, Kariyawasam SP, Tang HM. Tissue reaction to implanted root-end filling materials in the tibia and mandible of guinea pigs. *J Endod.* 1998;24:468-71.
21. Stowe TJ, Sedgley CM, Stowe B, Fenno JC. The effects of chlorhexidine gluconate (0.12%) on the antimicrobial properties of tooth-colored ProRoot mineral trioxide aggregate. *J Endod.* 2004;30:429-31.
22. Santos AD, Araujo EB, Yukimitu K, Barbosa JC, Moraes JC. Setting time and thermal expansion of two endodontic cements. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2008;106:e77-9.

23. Parirokh M, Torabinejad M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review—part I: chemical, physical, and antibacterial properties. *J Endod.* 2010;36:16-27.
24. Reyes-Carmona JF, Felipe MS, Felipe WT. Biomineralization ability and interaction of mineral trioxide aggregate and white portland cement with dentin in a phosphate-containing fluid. *J Endod.* 2009;35:731-6.
25. Pereira CL, Cenci MS, Demarco FF. Sealing ability of MTA, Super EBA, Vitremer and amalgam as root-end filling materials. *Braz Oral Res.* 2004;18:317-21.
26. Ribeiro DA, Sugui MM, Matsumoto MA, Duarte MAH, Marques MEA, Salvadori DMF. Genotoxicity and cytotoxicity of mineral trioxide aggregate and regular and white Portland cements on Chinese hamster ovary (CHO) cells in vitro. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2006;101:258-61.
27. Sipert CR, Hussne RP, Nishiyama CK, Torres SA. In vitro antimicrobial activity of Fill Canal, Sealapex, Mineral Trioxide Aggregate, Portland cement and EndoRez. *Int Endod J.* 2005;38:539-43.
28. Gandolfi MG, Siboni F, Primus CM, Prati C. Ion release, porosity, solubility, and bioactivity of MTA Plus tricalcium silicate. *J Endod.* 2014;40:1632-7.
29. DeLong C, He J, Woodmansey KF. The effect of obturation technique on the push-out bond strength of calcium silicate sealers. *J Endod.* 2015;41:385-8.
30. 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. *J Appl Biomater Func Mater.* 2015;13:43-60.
31. Poggio C, Arciola CR, Beltrami R, Monaco A, Dagna A, Lombardini M, Visia L. Cytocompatibility and antibacterial properties of capping materials. *Sci World J.* 2014;2014.
32. Erfanparast L, Iranparvar P, Vafaei A. Direct pulp capping in primary molars using a resin-modified Portland cement-based material (TheraCal) compared to MTA with 12-month follow-up: a randomised clinical trial. *Eur Arch Paediatr Dent.* 2018;19:197-203.
33. Eid AA, Gosier JL, Primus CM, Hammond BD, Susin LF, Pashley DH, Tay FR. In vitro biocompatibility and oxidative stress profiles of different hydraulic calcium silicate cements. *J Endod.* 2014;40:255-60.
34. Kramer PR, Woodmansey KF, White R, Primus CM, Opperman LA. Capping a pulpotomy with calcium aluminosilicate cement: comparison to mineral trioxide aggregates. *J Endod.* 2014;40:1429-34.
35. Assmann E, Scarparo RK, Böttcher DE, Grecca FS. Dentin bond strength of two mineral trioxide aggregate-based and one epoxy resin-based sealers. *J Endod.* 2012;38:219-21.
36. Silva EJ, Rosa TP, Herrera DR, Jacinto RC, Gomes BP, Zaia AA. Evaluation of cytotoxicity and physicochemical properties of calcium silicate-based endodontic sealer MTA Fillapex. *J Endod.* 2013;39:274-7.
37. Sagsen B, Ustün Y, Demirbuga S, Pala K. Push-out bond strength of two new calcium silicate-based endodontic sealers to root canal dentine. *Int Endod J.* 2011;44:1088-91.
38. Tanalp J, Dikbas I, Malkondu Ö, Ersev H, Güngör T, Bayırlı G. Comparison of the fracture resistance of simulated immature permanent teeth using various canal filling materials and fiber posts. *Dent Traumatol.* 2012;28:457-64.
39. Siboni F, Taddei P, Prati C, Gandolfi MG. Properties of NeoMTA Plus and MTA Plus cements for endodontics. *Int Endod J.* 2017;50:e83-94.
40. Tomas-Catala CJ, Collado-Gonzalez M, Garcia-Bernal D, Onate-Sanchez RE, Forner L, Llena C, Lozano A, Moraleda JM, Rodríguez-Lozano FJ. Biocompatibility of new pulp-capping materials NeoMTA Plus, MTA Repair HP, and Biodentine on human dental pulp stem cells. *J Endod.* 2018;44:126-32.
41. Camilleri J. Staining potential of Neo MTA Plus, MTA Plus, and Biodentine used for pulpotomy procedures. *J Endod.* 2015;41:1139-45.
42. Govindaraju L, Neelakantan P, Gutmann JL. Effect of root canal irrigating solutions on the compressive strength of tricalcium silicate cements. *Clin Oral Investig.* 2017;21:567-71.

43. Quintana RM, Jardine AP, Grechi TR, Grazziotin-Soares R, Ardenghi DM, Scarparo RK, Grecca FS, Kopper PMP. Bone tissue reaction, setting time, solubility, and pH of root repair materials. *Clin Oral Investig*. 2019;23:1359-66.
44. Sun Q, Meng M, Steed JN, Sidow SJ, Bergeron BE, Niu LN, Ma JZ, Tay FR. Manoeuvrability and biocompatibility of endodontic tricalcium silicate-based putties. *J Dent*. 2021;104:103530.
45. Özata MY, Falakaloğlu S, Plotino G, Adıgüzel Ö. The micro-shear bond strength of new endodontic tricalcium silicate-based putty: an in vitro study. *Aust Endod J*. 2023;49:124-5.
46. İpek İ, Ünal M, Güner A, Candan M. Push-out bond strength of Biodentine, MTA repair HP, and a new pre-mixed NeoPutty bioactive cement: scanning electron microscopy energy dispersive X-ray spectroscopy analysis. *J Aus Cer Soc*. 2022;58:171-9.
47. Da Fonseca T, Da Silva G, Tanomaru-Filho M, Sasso-Cerri E, Guerreiro-Tanomaru J, Cerri PS. In vivo evaluation of the inflammatory response and IL-6 immunoexpression promoted by Biodentine and MTA Angelus. *Int Endod J*. 2016;49:145-53.
48. Camilleri J, Sorrentino F, Damidot D. Investigation of the hydration and bioactivity of radiopacified tricalcium silicate cement, Biodentine and MTA Angelus. *Dent Mater*. 2013;29:580-93.
49. Bani M, Sungurtekin-Ekçi E, Odabaş ME. Efficacy of Biodentine as an Apical Plug in nonvital permanent teeth with open apices: an in vitro study. *Biomed Res Int*. 2015;359275.
50. Bhavya B, Sadique M, Simon EP, Ravi S, Lal S. Spectrophotometric analysis of coronal discoloration induced by white mineral trioxide aggregate and Biodentine: an in vitro study. *J Conserv Dent*. 2017;20:237-40.
51. Jang YE, Lee BN, Koh JT, Park YJ, Joo NE, Chang HS, Hwang IN, Oh WM, Hwang YC. Cytotoxicity and physical properties of tricalcium silicate-based endodontic materials. *Restor Dent Endod*. 2014;39:89-94.
52. Rathinam E, Rajasekharan S, Chitturi RT, Martens L, De Coster P. Gene expression profiling and molecular signaling of dental pulp cells in response to tricalcium silicate cements: a systematic review. *J Endod*. 2015;41:1805-17.
53. Singh H, Kaur M, Markan S, Kapoor P. Biodentine: a promising dentin substitute. *J Interdiscipl Med Dent Sci*. 2014;2:2-5.
54. Kim J, Song YS, Min KS, Kim SH, Koh JT, Lee BN, Chang HS, Hwang IN, Oh WM, Hwang YC. Evaluation of reparative dentin formation of ProRoot MTA, Biodentine and BioAggregate using micro-CT and immunohistochemistry. *Restor Dent Endod*. 2016;41:29-36.
55. Zhou H-m, Shen Y, Wang Z-j, Li L, Zheng Y-f, Häkkinen L, Haapasalo M. In vitro cytotoxicity evaluation of a novel root repair material. *J Endod*. 2013;39:478-83.
56. Han L, Okiji T. Bioactivity evaluation of three calcium silicate-based endodontic materials. *Int Endod J*. 2013;46:808-14.
57. Bani M, Aktaş N, Çınar Ç, Odabaş ME. The clinical and radiographic success of primary molar pulpotomy using Biodentine™ and mineral trioxide aggregate: a 24-month randomized clinical trial. *Pediatr Dent*. 2017;39:284-8.
58. Tran X, Gorin C, Willig C, Baroukh B, Pellat B, Decup F, Opsahl Vital S, Chaussain C, Boukpepsi T. Effect of a calcium-silicate-based restorative cement on pulp repair. *J Dent Res*. 2012;91:1166-71.
59. Niranjani K, Prasad MG, Vasa AAK, Divya G, Thakur MS, Saujanya K. Clinical evaluation of success of primary teeth pulpotomy using mineral trioxide aggregate, laser and biodentine™ - an in vivo study. *J Clin Diagn Res*. 2015;9:35-7.
60. Juneja P, Kulkarni S. Clinical and radiographic comparison of biodentine, mineral trioxide aggregate and formocresol as pulpotomy agents in primary molars. *Eur Arch Paediatr Dent*. 2017;18:271-8.
61. Sushynski JM, Zealand CM, Botero TM, Boynton JR, Majewski RF, Shelburne CE, Hu JC. Comparison of gray mineral trioxide aggregate and diluted formocresol in pulpotomized primary molars: a 6-to 24-month observation. *Pediatr Dent*. 2012;34:120-8.
62. Zanini M, Sautier JM, Berdal A, Simon S. Biodentine induces immortalized murine pulp cell differentiation into odontoblast-like cells and stimulates biomineralization. *J Endod*. 2012;38:1220-6.

63. Gandolfi MG, Siboni F, Polimeni A, Bossù M, Riccitiello F, Rengo S, Prati C. In vitro screening of the apatite-forming ability, biointeractivity and physical properties of a tricalcium silicate material for endodontics and restorative dentistry. *Dent J.* 2013;1:41-60.
64. Guner MB, Akbulut MB, Eldeniz AU. Effect of various endodontic irrigants on the push-out bond strength of biodentine and conventional root perforation repair materials. *J Endod.* 2013;39:380-4.
65. Yoldaş SE, Bani M, Atabek D, Bodur H. Comparison of the potential discoloration effect of bioaggregate, biodentine, and white mineral trioxide aggregate on bovine teeth: in vitro research. *J Endod.* 2016;42:1815-8.
66. Madfa AA, Al-Sanabani FA, Al-Kudami NHA-Q. Endodontic repair filling materials: a review article. *Br J Med Medical Res.* 2014;4:3059-79.
67. Chang SW. Chemical composition and porosity characteristics of various calcium silicate-based endodontic cements. *Bioinorg Chem Appl.* 2018; 2784632.
68. Hashem AAR, Amin SAW. The effect of acidity on dislodgment resistance of mineral trioxide aggregate and bioaggregate in furcation perforations: an in vitro comparative study. *J Endod.* 2012;38:245-9.
69. Saghiri MA, Garcia-Godoy F, Gutmann JL, Lotfi M, Asatourian A, Ahmadi H. Push-out bond strength of a nano-modified mineral trioxide aggregate. *Dent Traumatol.* 2013;29:323-7.
70. Çelik D, Er K, Serper A, Taşdemir T, Ceyhanlı KT. Push-out bond strength of three calcium silicate cements to root canal dentine after two different irrigation regimes. *Clin Oral Investig.* 2014;18:1141-6.
71. El Sayed M, Saeed M. In vitro comparative study of sealing ability of Diadent BioAggregate and other root-end filling materials. *J Conserv Dent.* 2012;15:249.
72. Park JW, Hong SH, Kim JH, Lee SJ, Shin SJ. X-Ray diffraction analysis of white ProRoot MTA and Diadent BioAggregate. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2010;109:155-8.
73. Chung CR, Kim E, Shin SJ. Biocompatibility of bioaggregate cement on human pulp and periodontal ligament (PDL) derived cells. *J Kor Acad Conserv Dent.* 2010;35:473-8.
74. Wang Z, Ma J, Shen Y, Haapasalo M. Acidic pH weakens the microhardness and microstructure of three tricalcium silicate materials. *Int Endod J.* 2015;48:323-32.
75. Damas BA, Wheeler MA, Bringas JS, Hoen MM. Cytotoxicity comparison of mineral trioxide aggregates and EndoSequence bio-ceramic root repair materials. *J Endod.* 2011;37:372-5.
76. Zhang S, Yang X, Fan M. BioAggregate and iRoot BP Plus optimize the proliferation and mineralization ability of human dental pulp cells. *Int Endod J.* 2013;46:923-9.
77. Shi S, Bao Z, Liu Y, Zhang D, Chen X, Jiang L, Zhong M. Comparison of in vivo dental pulp responses to capping with iRoot BP Plus and mineral trioxide aggregate. *Int Endod J.* 2016;49:154-60.
78. Alsalleeh F, Chung N, Stephenson L. Antifungal activity of endosequence root repair material and mineral trioxide aggregate. *J Endod.* 2014;40:1815-9.
79. Rodríguez-Lozano FJ, López-García S, García-Bernal D, Sanz JL, Lozano A, Pecci-Lloret MP, Melo M, López-Ginés C, Forner L. Cytocompatibility and bioactive properties of the new dual-curing resin-modified calcium silicate-based material for vital pulp therapy. *Clin Oral Investig.* 2021;25:5009-24.
80. Sanz JL, Soler-Doria A, López-García S, García-Bernal D, Rodríguez-Lozano FJ, Lozano A, Lena C, Forner L, Guerrero-Gironés J, Melo M. Comparative biological properties and mineralization potential of 3 endodontic materials for vital pulp therapy: Theracal PT, Theracal LC, and Biodentine on human dental pulp stem cells. *J Endod.* 2021;47:1896-906.
81. Karadas M, Atıcı MG. Bond strength and adaptation of pulp capping materials to dentin. *Microsc Res Tech.* 2020;83:514-22.
82. Qureshi A, E S, Nandakumar, Pratapkumar, Sambashivarao. Recent advances in pulp capping materials: an overview. *J Clin Diagn Res.* 2014;8:316-21.

83. Poggio C, Lombardini M, Colombo M, Beltrami R, Rindi S. Solubility and pH of direct pulp capping materials: a comparative study. *J Appl Biomater Func Mater*. 2015;13:181-5.
84. Yamamoto S, Han L, Noiri Y, Okiji T. Evaluation of the Ca ion release, pH and surface apatite formation of a prototype tricalcium silicate cement. *Int Endod J*. 2017;50:e73-82.
85. Hess D, Solomon E, Spears R, He J. Retreatability of a bioceramic root canal sealing material. *J Endod*. 2011;37:1547-9.
86. Ribeiro DA, Matsumoto MA, Duarte MAH, Marques MEA, Salvadori DMF. In vitro biocompatibility tests of two commercial types of mineral trioxide aggregate. *Braz Oral Res*. 2005;19:183-7.
87. Loushine BA, Bryan TE, Looney SW, Gillen BM, Loushine RJ, Weller RN, Pashley DH, Tay FR. Setting properties and cytotoxicity evaluation of a premixed bioceramic root canal sealer. *J Endod*. 2011;37:673-7.
88. Yang Q, Troczynski T, Liu D-M. Influence of apatite seeds on the synthesis of calcium phosphate cement. *Biomater*. 2002;23:2751-60.
89. Shokouhinejad N, Hoseini A, Gorjestani H, Shamshiri AR. The effect of different irrigation protocols for smear layer removal on bond strength of a new bioceramic sealer. *Iran Endod J*. 2013;8:10-3.
90. Mukhtar-Fayyad D. Cytocompatibility of new bioceramic-based materials on human fibroblast cells (MRC-5). *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2011;112:e137-42.
91. Zhang W, Li Z, Peng B. Ex vivo cytotoxicity of a new calcium silicate-based canal filling material. *Int Endod J*. 2010;43:769-74.