



MİNERAL TRİOKSİT AGREGAT VE PEDODONTİDEKİ ÖNEMİ

MINERAL TRIOXIDE AGGREGATE AND THE IMPORTANCE IN PEDIATRIC DENTISTRY

Hüseyin KARAYILMAZ¹, Zuhal KIRZIOĞLU²

ÖZET

Endodontik ve restoratif tedaviler sırasında kullanılan materyallere alternatif olarak geliştirilen Mineral Trioksit Agregat (MTA) son yıllarda diş hekimliğinin birçok alanında ön plana çıkan bir materyaldir. MTA'nın ana yapısını trikalsiyum silikat, trikalsiyum aluminat, trikalsiyum oksit ve bismut oksit oluşturmaktadır. İlk olarak kök-kanal sistemini tıkaçlamak için geliştirilen MTA, günümüzde, pulpa kuafajında, amputasyon tedavisinde, apeksogenezis tedavisinde, kök furka perforasyonlarının tamirinde ve açık apeksli dişlerde apikal bariyer oluşturulması amacıyla kullanılmaktadır. Yapılan çok sayıda in vitro ve in vivo çalışmalar sonucunda, MTA'nın mikrosızıntıyı önlediği, pulpa ve periradiküler dokular ile biyouyumlu olduğu ve bu dokuların rejenerasyonunu uyardığı saptanmıştır. Son yıllarda ise MTA, pedodontisler tarafından restoratif ve endodontik uygulamalarda başarıyla kullanılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, MTA'nın bileşimi, fiziksel ve kimyasal özellikleri, hazırlanma reaksiyonları, manipülasyonu ve çocuk diş hekimliğindeki klinik kullanım alanları konusunda literatürdeki mevcut bilgilerin derlenerek sunulmasıdır.

Anahtar kelimeler: Mineral Trioksit Agregat, MTA, Klinik Kullanım Alanları, Çocuk Diş Hekimliği

ABSTRACT

Mineral trioxide aggregate (MTA), consists mainly of tricalcium silicate, tricalcium aluminate, tricalcium oxide and bismuth oxide, and has recently been investigated as a potential alternative restorative material to the presently used materials in endodontic/restorative applications. It was developed and recommended initially as a root-end filling material and subsequently has been used for pulp capping, pulpotomy, apical barrier formation on teeth with open apices, apexogenesis, and repair of root or furcation perforations. Several in vitro and in vivo studies have shown that MTA prevents microleakage, is biocompatible, and promotes regeneration of the original tissues when it is placed in contact with the dental pulp or periradicular tissues. Recently pediatric dentists have successfully employed MTA in a variety of endodontic/restorative applications.

The aim of this study was to present a review of the reported literature on: composition, the physical and chemical properties, setting reaction, manipulation, and clinical applications of MTA in the practice of pediatric dentistry.

Keywords: Mineral Trioxide Aggregate, MTA, Clinical Applications, Pediatric Dentistry

1. Yard. Doç. Dr. Akdeniz Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti Anabilim Dalı, Antalya, TÜRKİYE

2. Prof. Dr. Süleyman Demirel Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti Anabilim Dalı, Isparta, TÜRKİYE

Giriş

Mekanik veya çürük nedeniyle, diş pulpasında oluşan açılmalar, furkada ve kök kanalında meydana gelen iatrojenik perforasyonlar, bakteriyel sızıntının önlenmesi amacıyla, restoratif bir materyal ile tıkaçlanmalıdır. Ancak kullanılan restoratif materyaller, vital dokularla temasta olacağından, biyouyumlu olmalı, dokularda oluşması istenen rejenerasyonu tetiklemeli ve mikroorganizma geçişini mutlaka önlemelidir.

Bugüne kadar, kök/kanal sistemi-oral kavite ve kök/kanal sistemi-periradiküler dokular arasında, herhangi bir nedenle oluşan, mikroorganizma geçiş yollarını tıkaçlamak amacı ile birçok restoratif materyal kullanılmıştır. Bunlardan bazıları amalgam, ZnOE esaslı simanlar (IRM, Süper-EBA vb), kompozit resinler ve cam iyonomer simanlardır. Fakat, bu materyallerin, değişik derecelerde toksisiteye sahip olmaları, neme karşı hassas olmaları ve mikroorganizma geçişini yeteri kadar engelleyememeleri vb. bazı dezavantajları vardır.

Bu amaçla son yıllarda, kök-kanal sistemi ve dişin dış yüzeyleri arasındaki bağlantı yollarını örtülemek amacı ile geliştirilen ve klinik uygulamalarda başarılı sonuçlar verdiği rapor edilen materyallerden biri Mineral Trioksit Agregat (MTA)'tır.

Mineral Trioksit Agregat (MTA)

Kök kanal sistemi ve dişin dış yüzeyi arasındaki bağlantı yollarını örtülemek ve endodontik cerrahi sırasında, kök ucu kavitelelerini tıkaçlamak amacı ile Loma Linda Üniversitesi'nde geliştirilmiş bir madde olan MTA'nın dental literatürdeki ilk tanımlaması Lee ve ark.¹, tarafından 1993 yılında yapılmıştır. Bir süre deneysel olarak kullanılan materyal, 1998 yılında

Amerikan Gıda ve İlaç İdaresi (FDA) tarafından onaylanması ile geniş bir kullanım alanı bulmuştur². Günümüzde, ilk geliştirilen orijinal formülasyonu, Dentsply Int. tarafından "ProROOT MTA" ve "Tooth Colored MTA" adı altında satılmakla birlikte, Angelus (Beyaz ve Gri MTA, Angelus, Londrina, PR, Brazil) ve Egeo (Beyaz MTA, Egeo, Buenos Aires, Argentina) firmaları tarafından da satışa sunulan MTA materyalleri de bulunmaktadır. Ayrıca, ışıkla serleşen MTA ve kanal dolgu patı olarak MTA (CPM Sealer (Egeo), MTA-Obtura(Angelus)) şeklinde halen deneysel aşamadaki MTA materyalleri de bulunmaktadır³.

MTA'nın Bileşimi ve Fiziksel Özellikleri

MTA, nem varlığında sertleşen, hidrofilik partiküllerden oluşan, gri renkli bir tozudur. Genel içerik ve yapı olarak Portland simanına benzemektedir. Portland simanı ile arasındaki en önemli farklılık yapısında potasyumun bulunmayıp, bizmut oksitinin bulunmasıdır³.

Portland simanı, MTA'nın yapısını ve içeriğini, SEM, EDAX (Energy Dispersive Analysis by X-Ray) ve XRD (X-Ray Diffraction) metotları ile inceleyen Camilleri ve ark.⁴, MTA'nın da Portland simanına benzediğini, aradaki tek farkın MTA'nın bizmut oksit içeriğinden kaynaklandığını bildirmişlerdir.

Gri MTA'nın renklendirme potansiyelinden dolayı, özellikle ön dişlerde kullanılabilmesi için beyaz renkli MTA'da üretilmiştir. Beyaz ve gri MTA arasındaki fark, beyaz MTA'da demir, alüminyum ve magnezyumun daha az oranlarda bulunmasıdır³. Ayrıca, beyaz MTA, gri MTA'ya göre boyutsal değişikliği sınırlı olan daha küçük çaplı partiküller içermektedir².

MTA'nın ana yapısını şu maddeler oluşturmaktadır^{4,6};

- Trikalsiyum Silikat,
- Dikalsiyum Silikat,
- Trikalsiyum Aluminat,
- Trikalsiyum Oksit,
- Bizmut Oksit,

Ayrıca, MTA'nın yapısında, materyalin fiziksel ve kimyasal özelliklerini sağlayan bazı mineral oksitler de bulunmaktadır. MTA'nın suyla karıştırılması sonucu, 49% fosfat, 33% kalsiyum, 3% klorid, 2% karbon ve 6% silika'dan meydana gelen amorf yapı içerisinde, kalsiyum oksit kristalleri oluşur^{4,6}.

Radyografilerde MTA'nın radyopak görüntü vermesini bizmut oksit sağlamaktadır. MTA'nın radyoopasitesi, dentinden daha fazladır. Yaklaşık 7 mm kalınlığındaki MTA'nın radyoopasitesi aynı kalınlıktaki alüminyumun radyoopasitesine eşdeğer olduğu bildirilmiştir^{3,6}. Shah ve ark.'nın⁷ retrograd dolgu amacıyla kullanılan materyallerden bazılarının (amalgam, kalzinol, MTA, güta-perka, IRM, Süper-EBA) radyoopasitelerini inceledikleri çalışmalarında, MTA, geleneksel güta-perka ve dentinden daha radyopak bulunmuş ve retrograd dolgu olarak kullanıldığında, radyografide kolaylıkla ayırt edilebildiği belirtilmiştir.

Materyalin su ile karıştırılmasının hemen ardından pH'sı 10,2 olan kolloidal bir jel oluşur. Üç saat sonra pH 12,5'e kadar çıkar^{3,6}. Oluşan kolloidal jelin 21. gündeki sıkıştırma kuvveti yaklaşık 70 MPa dır. Sıkıştırma kuvveti açısından diğer materyallerden IRM ve Süper-EBA ile benzer özellikler göstermesine karşın, sıkıştırma kuvveti 311 MPa olan amalgama

göre oldukça düşüktür. Bu nedenle MTA'nın fonksiyon gören alanlarda kullanılması tavsiye edilmemektedir^{5,6}.

MTA'nın Hazırlanması

MTA tozu, steril su ile 3'e 1 oranında, cam veya kağıt bir zeminde, plastik veya metal bir spatül yardımıyla karıştırılabilir³. Karıştırma süresinin 4 dakikadan daha az olması gerektiği bildirilmiştir⁸. Karışım, operasyon alanına plastik, teflon veya metal taşıyıcı ve fulvarlar ile uygulanabilmektedir³. Ayrıca, bir olguda şırınga şeklindeki karıştırma ve uygulama tabancası kullanıldığı da rapor edilmiştir⁹.

Polietilen tüpler içerisine, çeşitli kalınlıklardaki MTA'nın, ultrasonik alet veya el ile yerleştirilmesi arasında farklılık bulunup bulunmadığını araştıran Aminoshariae ve ark.¹⁰, radyografik ve mikroskopik değerlendirme sonucunda, el yerleştirilen MTA'nın ultrasonik alet ile yerleştirilenlere göre adaptasyonun daha iyi olduğu ve daha az hava boşluğunun oluştuğunu bildirmişlerdir.

Nekoofar ve ark.¹¹ el ile kondansasyon metodunun ve uygulanan kondansasyon basıncının MTA'nın sıkıştırma dayanıklılığını etkilemediğini bildirmişlerdir.

Eğer uygulama alanı çok nemli veya ıslaksa, fazla nem kuru bir spanç yardımı ile uzaklaştırılmalıdır. Ortamın çok kuru olduğu olgularda ise, karışıma biraz daha fazla su ilave edilebilir. Uzun çalışma süresine ihtiyaç duyulduğunda, buharlaşmayı önlemek için karışım, nemli bir tamponla örtülmelidir. Aksi takdirde su kaybeden MTA, kuru, kumlu bir görüntü alır. Kullanımdan sonra karışım akan suyun altında kolaylıkla temizlenebilmektedir.



Hazırlanış sırasında çok fazla veya yetersiz su ilavesi materyalin son sertliğini azaltmaktadır^{5,6}. Fridland ve Rosado¹², 2003 yılında yayınladıkları bir çalışmada, su-toz oranı arttıkça, MTA karışımının çözünürlüğünün ve porözitesinin de arttığı sonucuna varmışlardır.

MTA'nın uygulanacağı sahanın hazırlığı sırasında şunlara dikkat edilmelidir^{5,6}:

- Tüm irrigasyon işlemleri, MTA yerleştirilmeden önce tamamlanmalıdır. Çünkü materyal yerleştirildikten sonra, yapılacak en ufak irrigasyon materyalin akıp gitmesine neden olabilir,

- İlgili alan fazla kurutulmamalıdır. Çünkü materyal nem varlığında katılaşmaktadır. Fakat, ortamdaki fazla sıvı da uzaklaştırılmalıdır,

- Eğer materyal dışın iç yüzeyine yerleştirilecekse, üzerine nemli bir pamuk pelet konmalı ve giriş kavitesi kapatılmalıdır.

Torabinejad ve Chivian⁵ pulpa kaplaması, perforasyon tamiri veya apikal tıkaçlama gibi tedavilerde nemli pamuk pelet kullanılmasını tavsiye etmişlerdir. İlk 24 saat MTA üzerine nemli pamuk pelet yerleştirilmesinin materyalin esneme dayanıklılığını arttırdığı bildirilmiştir³. Çekilmiş azı dişlerinde furkasyon bölgesi tamir materyali olarak, MTA'nın sertleşme özelliklerini ve retansiyon karakterini inceleyen Sluyk ve ark.⁸ ise, ıslak pamukla deneysel olarak oluşturulan nem varlığının, MTA'nın adaptasyonunu arttırdığını ama sertleşme zamanına etki etmediğini bildirmişlerdir.

MTA karışımının sertleşme süresinin 165±5 dk. olduğu rapor edilmiştir^{2,3,6}. Bu süre amalgam, Süper

EBA ve IRM materyallerinin ortalama sertleşme süresinden daha uzundur^{3,5,6}. Araştırmacılara göre bir materyal ne kadar hızlı katılaşır, boyut değişimi de o kadar fazla olacağından, MTA'nın diğer materyallere kıyasla daha uzun sürede katılaşması, mikrosızıntıyı önlemede materyalin lehine olarak yorumlanmış olsa da, uzun sertleşme süresi materyalin en önemli dezavantajı olarak kabul edilmektedir³. Araştırmacılar tarafından sertleşme süresinin kısaltılması için sodyum fosfat ve kalsiyum klorür kullanılması önerilmektedir¹³.

MTA'nın sertliğini birçok faktör etkilemektedir. Bu faktörler⁴⁻⁶,

- Karıştırma sırasında kullanılan suyun miktarı,
- Karıştırma metodu,
- Yerleştirme sırasında uygulanan basınç,
- Ortamın nemi,
- Ortamın pH'sı,
- Ortamın sıcaklığıdır.

Bu faktörlerden bazılarının kontrol altına alınması çok zor olduğundan, MTA'nın hazırlanışı sırasında standardizasyonu sağlamak oldukça güçtür. MTA tozu, kapağı sıkıca kapatılmış kutularda, nemden uzak bir şekilde saklanmalıdır ve kullanımından hemen önce hazırlanmalıdır.

MTA'nın Antimikrobiyal Özelliği

Katılaşım sonrası pH değerinin 12,5'e çıkması materyale bazı antimikrobiyal özellikler katsa da yapılan çalışmalar sonucunda MTA'nın antimikrobiyal özelliklerinin sınırlı olduğu belirlenmiştir. Torabinejad ve ark.¹⁴ çalışmalarında, retrograd dolgu maddesi olarak amalgam, MTA,

Mineral Trioksit Agregat ve Pedodontideki Önemi



ZnOE ve Süper-EBA'nın 9 fakültatif ve 7 anaerop mikroorganizmaya karşı antibakteriyel etkinliklerini kıyaslamışlardır. Araştırmacılar MTA'nın 9 fakültatif bakterinin 5'ine karşı (Strep. Mitis, Strep. Mutans, Strep. Salivarius, Staph. Epidermidis ve Lactobacillus türleri) antibakteriyel etki gösterdiğini fakat, 7 anaerop bakterinin hiçbirine karşı, antibakteriyel etkisinin olmadığını belirtmişlerdir. Diğer materyallerin de benzer etki gösterdiğini ve sonuçta test edilen hiçbir materyalin, retrograd dolgu maddesi olarak arzu edilen antibakteriyel özelliği taşımadığını vurgulamışlardır.

MTA, Portland simanı, kalsiyum hidroksit patı, Sealapex ve Dycal materyallerinin Staph. Aureus, Entero. Facealis, Pseudo. Aeruginosa, Bac. Subtilis, C. Albicans suşları üzerinde antimikrobiyal etkinliklerini inceleyen Estrela ve ark.¹⁵, kalsiyum hidroksit patının, MTA'ya göre daha yüksek etki gösterdiğini belirtmişlerdir.

Yeni hazırlanmış olan çeşitli retrograd dolgu materyallerinin (IRM, gri MTA, Amalgam, Superbond C&B, Geristore, Dyract, Clearfil APX kompozit+SE Bond, Protect Bond) S. aureus, E. faecalis, ve P. aeruginosa'ya karşı antibakteriyel etkilerinin incelendiği bir çalışmada ise, IRM ve gri MTA'nın diğer test edilen materyallere göre daha yüksek antibakteriyel aktivite gösterdiği rapor edilmiştir¹⁶.

MTA'nın antibakteriyel özelliğini artırmak için farklı yöntemler deneyen araştırmacılar, 2004 yılında yayımlanan bir çalışmada¹⁷ MTA'yı klorheksidin ile karıştırarak antibakteriyel özelliğini arttırmayı düşünmüşlerdir. Sonuç olarak %0,12'lik klorheksidin ile hazırlanan MTA'nın, antibakteriyel etkisinde bir artış olduğu, fakat, materyalin çalışma zamanında ise

bir düşüş olduğu kaydedilmiştir. Bu nedenle araştırmacılar, klorheksidin, MTA'nın yapısı ve özellikleri üzerine etkileri konusunda ileri çalışmalara ihtiyaç duyulduğunu önemle vurgulamışlardır¹⁷.

Yapılan bir başka çalışmada, yeni karıştırılmış MTA'nın 24 saat süreyle C. Albicans üzerine antifungal etkilerinin olduğu bildirilmiştir¹⁸. Araştırmacılar MTA'nın antifungal özelliğinin, yüksek pH değerinden kaynaklandığını savunmuşlardır. Al-Hezaimi ve ark.¹⁹ materyalin antifungal etkilerinin MTA'nın konsantrasyonuna bağlı olarak değiştiğini bildirmişlerdir.

MTA'nın Mikrosızıntı Önlemedeki Etkinliği İle İlgili Çalışmalar

MTA, kök kanal sistemi ve dişin dış yüzeyi arasındaki iletim yollarını kapatmak amacıyla geliştirilmiştir. Çünkü birçok endodontik başarısızlığın nedeni, bakteri ve diğer antijenlerin, periradiküler dokulara sızmasından kaynaklanmaktadır. Mikrosızıntı özellikle, retrograd dolgu ve perforasyon tamiri gibi tedavilerde başarıyı etkileyen en önemli faktördür²⁰.

Lee ve ark.¹ MTA, IRM ve amalgam materyallerini, lateral kök perforasyonlarının onarımında kullanarak, sızdırmazlıklarını karşılamışlardır. Çalışmada klinik ortamı taklit etmek için, tuzlu su içeren bir çalışma modeli kullanılmıştır. Hazırlanan örnekler bu model içerisinde 4 hafta süre ile bekletilmiş, daha sonra perforasyon alanları metilen mavisi ile boyanmıştır. Yapılan mikroskopik incelemede MTA'nın, IRM ve amalgama göre anlamlı derecede daha az geçirgen olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, perforasyon alanına



materyal taşması sorununun, (amalgam ve IRM'ye göre) MTA'da, daha az karşılaştığı da görülmüştür.

Torabinejad ve ark.'nın²¹ retrograd dolgu materyali olarak, MTA, Süper-EBA ve IRM materyallerinin kenar uyumlarını, dört ayrı noktadan SEM ile incelemişlerdir. Çalışma sonunda, MTA ile diş dokuları arasında hiç aralık oluşmadığı görülürken, Süper-EBA ve IRM ile diş dokuları arasında, 3.8-14.9 mikron arası değişen boyutlarda, aralıklar oluştuğu tespit edilmiştir. Sonuçta, MTA'nın dentin duvarlarına diğer materyallere göre daha iyi uyum sağladığı belirtilmiştir.

Retrograd dolgu materyali olarak MTA, Süper-EBA ve amalgamın sızdırmazlıklarını, sıvı filtrasyon tekniği ile inceleyen Bates ve ark.²², MTA'nın amalgamdan daha üstün, Süper-EBA ile ise kıyaslanabilir düzeyde bir sızdırmazlık aktivitesine sahip olduğunu gözlemişlerdir. Wu ve ark.²³ tarafından yapılan bir başka çalışmada ise, MTA ile yapılan retrograd dolgularda sızdırmazlığın en azından 1 yıl sürdüğü belirtilmiştir.

Çekilmiş dişlerde deneysel olarak oluşturulan furkasyon perforasyonlarında, tamir materyali olarak kullandıkları Vitrebond ve MTA'nın sızdırmazlık kapasitelerini inceleyen Daoudi ve Saunders²⁴, çalışmanın sonuçlarına göre MTA, Vitrebond'dan anlamlı derecede daha az boya geçişine sebep olmuştur.

"Modifiye Limulus Amebocyte Lysate" testi kullanılarak, Tang ve ark.²⁵ tarafından yapılan bir çalışmada, endotoksinlerin koronal mikrosızıntısına bakılmış ve sızdırmazlık açısından MTA'nın, amalgam ve Süper-EBA'ya göre daha üstün olduğu bildirilmiştir.

MTA'nın Biyo-uyumluluğu Üzerine Yapılan Çalışmalar

Yapılan elektron mikroskobu analizinde, MTA'nın içerdiği ana elementlerin, aynı zamanda, diş sert dokularında da bulunan, kalsiyum ve fosfor olduğu belirlenmiştir. Materyalle diş dokuları arasında gözlenen bu ortaklık, MTA'nın diş dokuları ile yüksek uyumluluk göstermesine neden olmaktadır²⁰.

Bu konuda yapılan çalışmalarda MTA materyali non-mutajenik bulunmuştur²⁶. Süper-EBA ve IRM ile karşılaştırdıklarında ise MTA'nın sitotoksitesinin daha az olduğu sonucuna varmışlardır²⁷. Braz ve ark.²⁸ genotoksite testleri kullanarak, periferik lenfositlerin MTA ile tedavisinden sonra DNA hasarının oluşmadığını ortaya koymuşlardır.

MTA varlığında insan osteoblastlarının sitomorfolojisini ve sitokin salınımını in-vitro olarak inceleyen Koh ve ark.²⁹, materyalin kemik hücreleri için aktif biyolojik substrat görevi gördüğü, sitokin salınımı ve interlökin üretimi gibi biyolojik olayları uyardığını gözlemişlerdir.

Torabinejad ve ark.^{30,31} tarafından 1995 ve 1997 yıllarında yapılan iki ayrı hayvan çalışmasında, sement dokusu üretimine izin veren tek materyalin MTA olduğu görülmüştür. Köpek ve maymun gibi denekler kullanılarak yapılan bu çalışmalarda, materyalin biyolojik uyumluluk açısından, olumlu sonuçlar verdiği ve amalgam, Süper-EBA ve IRM'den daha üstün bir doku uyumu gösterdiği tespit edilmiştir.

MTA ve Süper-EBA simanını sıçanlarda cilt altı ve kemik içi implantasyonla uygulayarak oluşan doku reaksiyonlarını 15, 30 ve 60 günlük periyotlarla inceleyen Moreton ve ark.³², MTA'nın cilt altı

implantasyon bulgularında başlangıçta koagülasyon nekrozu ve distrofik kalsifikasyonla karakterize ciddi bir reaksiyona yol açtığını fakat, bu reaksiyonun zamanla azaldığını belirtmişlerdir. Ayrıca, araştırmacılar kemik içi implantasyon bulgularının cilt altı reaksiyonlardan daha ılımlı olduğunu ve materyalin osteokondüktif etkisi bulunduğunu da bildirmişlerdir.

Torabinejad ve ark.^{33,34}, domuzların mandibulası ve tibialarına teflon tüpler yardımıyla MTA, amalgam, IRM ve Süper-EBA implante ederek doku uyumlarını iki ayrı çalışmada incelemişlerdir. Araştırmacılar MTA ile her iki bölgede elde edilen kemik içi reaksiyonların olumlu olduğunu ve direkt kemik apozisyonu gözlemlediklerini, sonuçta MTA'nın biyolojik uyumunun yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Dinçol³⁵, doktora tez çalışmasında MTA, AH-Plus, Roeko Seal ve Endomethasone materyallerini sıçanların tibialarına, polietilen tüpler yardımıyla implante ederek, kemik içi reaksiyonlarını incelemiştir. Araştırmacı, 7, 15, 30, 60 ve 90 günlük histolojik incelemelerde, tüp çevresinde en erken kemik oluşumunun ve en olumlu doku yanıtlarının, MTA grubunda gözlemlendiğini ve materyalin biyolojik olarak uyumlu olduğunu belirtmiştir.

Zhu ve ark.³⁶, MTA, kompozit reçine, amalgam ve IRM materyallerine, insan osteoblast hücrelerinin adezyonunu SEM ile incelemişlerdir. Araştırmacılar, osteoblastların, tek tabaka halinde MTA ve kompozit örnekleri üzerinde yayıldığını ve IRM ile amalgama göre daha başarılı sonuçlar elde edildiğini bildirmişlerdir.

Keiser ve ark.³⁷ insan periodontal ligament fibroblastlarını kullanarak MTA, Süper-EBA ve amalgamın sitotoksitelerini inceledikleri in-vitro

çalışmalarında, taze karıştırılan materyalleri toksitelerine göre, amalgam, Süper-EBA ve MTA olarak sıralamışlar ve kök ucu çevresi için en uyumlu materyalin MTA olduğunu bildirmişlerdir.

İnsan dişeti fibroblastları ve L-929 hücreleri kullanılarak yapılan bir hücre kültürü çalışmasında, Endomethasone, CRCS, AH 26 gibi kök kanal dolgularının ve amalgam, Gallium GF2, Ketac Silver, MTA ve Süper-EBA gibi retrograd dolgu materyallerinin sitotoksiteleri incelenmiştir³⁸. Araştırmacılar en az toksik etki gösteren kök kanalı dolgu materyalinin CRCS, retrograd dolgu materyalinin ise MTA olduğunu belirtmişlerdir.

MTA'nın Pedodonti'deki Klinik Kullanım Alanları

Bir restoratif madde ile birlikte kullanıldığında MTA, biyo-uyumluluğu ve bakteriyel sızdırmazlık vb. özellikleri sayesinde pulpanın korunması, tamiri ve canlılığının devamını sağlamada ideal bir materyal olarak ön plana çıkmaktadır. Bu sayede pedodontide birçok tedavi prosedüründe kullanılabilir.

MTA'nın klinik kullanım alanları^{2,5,39};

- Kuafaj materyali olarak,
- Amputasyon materyali olarak,
- Apeksifikasyon sırasında, apikal tıkaç materyali olarak,
- Kök rezorbsiyon alanlarının tamirinde,
- Furka ve kök perforasyonlarının onarımında, tamir materyali olarak,
- Retrograd dolgu materyali olarak,
- Kök kırıklarında tamir materyali olarak



MTA'nın Vital Pulpa Tedavilerinde Kullanılması

Çeşitli nedenlerle diş pulpasında meydana gelen perforasyonların iyileşmesi birçok faktöre bağlıdır. Bu faktörlerden başlıcaları; pulpa açıklığının boyutu ve doğası (travmatik, mekanik ve çürük nedeni ile), bakteriyel kontaminasyon durumu, pulpanın iyileşme yeteneği, yaş, kök oluşum aşaması, periodontal durum ve kullanılan materyallerdir. Pulpa kuafajı için farklı materyaller bulunmasına karşın, Ca(OH)₂ standart olma özelliğini halen korumaktadır. Bu güne kadar yapılan çalışmalarda, araştırmacılar pulpa açılmalarının tedavisinde, seçilen materyalin cinsinden ziyade, seçilen materyalin sızıntıyı önleyebilme kapasitesinin daha önemli olduğunu görmüşlerdir. Bu noktada, Ca(OH)₂'in zamanla çözünebilmesi, oluşturduğu dentin köprüsünde tünel defektlerinin olması ve zamanla sızıntıyı önleme kabiliyetindeki düşüş, bazı soru işaretleri oluşmasına neden olmuştur^{2,39}.

Son yıllarda, yüksek doku uyumluluğuna sahip olması, oluşturduğu dentin köprüsünde tünel defektlerinin olmaması ve bakteri boya geçişini son derece iyi önlemesi nedeni ile MTA materyali, pulpa perforasyonlarının kuafajında ön plana çıkmaya başlamıştır. MTA'nın oluşturduğu dentinogenez, materyalin sızdırmazlık özelliğinin, yüksek doku uyumunun ve bazik karakterde olmasının bir sonucudur^{2,39}.

Pitt Ford ve ark.⁴⁰ 1996 yılında yaptıkları bir çalışmada, canlı maymun dişlerinde pulpa kuafaj materyali olarak MTA ile Ca(OH)₂ kıyaslanmıştır. Yapılan direkt pulpa kuafajlarının 5 aylık gözlem periyodunun sonunda, MTA ile kapatılan 6 dişin 5'inde hiçbir enflamasyon görülmezken, örneklerin

tümünde dentin köprüsü olduğu gözlenmiştir. Ca(OH)₂ ile kapatılan dişlerin tümünde, pulpada enflamasyon görülmüş ve sadece 6 dişin 2'sinde dentin köprüsü oluşmuştur.

Faraco ve ark.nın⁴¹ (2001), Tziafas ve ark.nın⁴² (2002), ve Dominguez ve ark.nın⁴³ (2003) köpekler üzerinde, Andelin ve ark.nın⁴⁴ (2003) ise ratlar üzerinde yaptıkları deneysel kuafaj çalışmalarında, MTA'nın, özellikle Ca(OH)₂'e göre daha üstün sonuçlar verdiği rapor edilmiştir.

Hayvansal deneylerin çok olumlu sonuçlar vermesi üzerine, MTA kliniklerde kuafaj materyali olarak denenmeye başlanmıştır. Aeinehchi ve ark.⁴⁵ 11 çift, toplam 22 sağlam maksiller 3. azı dişte, kuafaj materyali olarak MTA ve Ca(OH)₂'nin başarısını karşılaştırmışlardır. Histolojik olarak, MTA uygulanan dişlerde Ca(OH)₂'e göre daha az enflamasyon, hiperemi ve nekroz bulgularına rastlamışlardır. Ayrıca, MTA'nın yaklaşık 2 ay da 0,28mm kalınlığında bir dentin köprüsünün oluştuğunu ve 6. ay sonunda kalınlığının 0,43mm ye çıktığını, bu süre sonunda Ca(OH)₂ ile oluşan dentin köprüsünün ise sadece 0,15mm olduğunu rapor etmişlerdir.

Anatomik ve fizyolojik özellikleri nedeni ile, geleneksel materyaller ile süt dişlerinde yapılan direkt pulpa kuafajı tedavilerinin başarısı oldukça düşük olmaktadır. Bu durumun, süt dişi pulpasındaki farklılaşmamış mezenşimal hücrelerin, internal rezorpsiyonu yöneten osteoklastlara dönüşmesinden kaynakladığı düşünülmektedir. Bu nedenle süt dişlerinde direkt pulpa kuafajı yerine, daha radikal bir tedavi olan amputasyon tedavisi tercih edilmektedir.⁴⁶ Literatürde MTA'nın pulpa kuafajında başarıyla kullanıldığına dair birçok olgu raporu bulunmaktadır.

Mineral Trioksit Agregat ve
Pedodontideki Önemi



Özellikle 2004 yılında yayınlanan bir olgu raporunda hastanın alt sağ I. süt azı dişine MTA ile direkt pulpa kuafajı yapılmış ve 18 aylık takip sonunda ise dişte klinik ve radyolojik olarak herhangi bir komplikasyona rastlanmamıştır.⁴⁶ Süt dişlerinin direkt kuafajında, MTA'nın başarılı ve güvenilir sonuçlar vermesi, özellikle pedodontistler açısından önemlidir. Bu konuda uzun süreli ve kapsamlı çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

MTA'nın Amputasyon Tedavisinde Kullanılması

Süt dişlerindeki pulpayı içine alan çürük lezyonlarının tedavisinde, genellikle amputasyon tercih edilmektedir. Bu güne kadar amputasyon tedavisinde birçok materyal denenmiştir (formokrezol, ferrik sülfat, guluteraldehit, ZnOE, Ca(OH)₂ vb.). Klinik olarak başarılı bulunan ve en fazla tercih edilen materyal formokrezoldür. Ancak pulpada enflamasyon ve nekroza neden olması, sitotoksik, mutojenik ve karsinojenik potansiyelinin olması, immünojenik cevaplara neden olması ve sistemik yayılım gösterebilmesi nedeni ile formokrezol özellikle çocuklarda güvenle kullanılacak bir materyal olarak görülmemektedir. Bu nedenle araştırmacılar olumlu etkilere sahip, güvenilir bir materyal üzerinde durmaktadırlar ve bu noktada MTA ön plana çıkmaktadır^{2,39}.

Bu konuda Eidelman ve ark.'nın⁴⁷ 2001 yılında yaptıkları bir çalışmada, çürük nedeniyle perfore olmuş, süt azılarında yapılan pulpotomilerde, MTA ile formokrezolün başarıları kıyaslanmıştır. On yedi aylık takip sonucunda, MTA'nın, formokrezole göre çok daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüş ve süt dişleri için MTA'nın, formokrezole göre daha uygun bir

materyal olduğu araştırmacılar tarafından vurgulanmıştır.

Ebrahim ve ark.⁴⁸ 2007 yılında yaptıkları histolojik çalışmada amputasyon materyali olarak biyoaktif cam ile birlikte MTA'nın hidroksiapatit ve formokrezole kıyasla daha iyi bir seçim olacağı sonucuna varmışlardır.

Bir hayvan çalışmasında ise ratların azı dişlerinde yapılan deneysel pulpotomilerde ferrik sülfat, formokrezol, MTA ve bioaktif cam materyalinin etkinliği değerlendirilmiştir⁴⁹. Yapılan histolojik incelemeler sonunda, en ideal materyal olarak ilk sırada MTA yer almıştır. MTA'nın normal dentin köprüsü oluşumunu arttırdığı ve pulpayı normal histolojik yapısında muhafaza etmede son derece başarılı olduğu belirtilmiştir.

Holland ve ark.⁵⁰ tarafından yapılan bir başka hayvan çalışmasında ise, aynı kimyasal yapıya sahip oldukları söylenen Portland simanı ve MTA'nın köpek dişlerinde yapılan pulpotomi uygulamalarındaki etkinlikleri incelenmiştir. Pulpotomi uygulamasını takiben 2 ay sonra yapılan histomorfolojik incelemelerde, örneklerin tümünde tübuler dentin köprüsü oluşumu gözlenmiştir. Sonuç olarak, MTA ve Portland simanı, pulpotomi uygulamalarında benzer etkiler göstermişlerdir.

Agamy ve ark.⁵¹ yaşları 4-8 arası değişen toplam 24 çocuğun süt dişlerinde yaptıkları pulpotomi tedavilerinde, beyaz MTA, gri MTA ve formokrezolün etkilerini araştırmışlardır. Klinik, radyolojik ve histolojik olarak 12. ay sonunda yapılan değerlendirmede, özellikle gri MTA'nın diğer materyallere göre çok daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Araştırmacılar gri MTA'nın hem sert

hem de yumuşak dokularda rejenerasyonu arttırdığını tespit etmişlerdir.

MTA'nın Apeksifikasyon Sırasında Apikal Tıkaç Olarak Kullanılması

Kök gelişiminin, travma veya pulpal patolojiler nedeni ile tamamlanamadığı, açık apeksli dişlerin tedavisi ve restorasyonu son derece zordur. Bu amaçla birçok materyal sert doku formasyonunu teşvik etmek ve dolgu maddelerinin apikalden taşmasını engellemek amacı ile apikal tıkaç olarak kullanılmıştır. En tercih edilen yöntem, Ca(OH)₂ ile apeksifikasyon işlemini takiben, kökün kırılma direncini arttırmak için kanalın bir kompozit rezin ile doldurulmasıdır. Ancak 2002 de Andreasen ve ark.⁵², apeksifikasyon işlemi için 1 yıldan daha fazla Ca(OH)₂ uygulanan immatür dişlerde, kırılma direncinin %50 oranında azaldığını bildirmiştir. Bu nedenle araştırmacılar açık apeksli dişlerde, apikal tıkaç olarak alternatif materyal arayışına girmişler ve özellikle in-vitro olarak olumlu sonuçlar verdiği bilinen, MTA materyali üzerinde yoğunlaşmışlardır^{2,39}.

In-vitro apeksifikasyon modellerinde, instron cihazı ile yapılan birbirine benzer iki çalışmada, MTA ve Ca(OH)₂ karşılaştırılmıştır. Hachmeister ve ark.⁵³ tarafından 2002 yılında yapılan ilk çalışmada, apikal tıkaç olarak 4mm kalınlığında yerleştirilen MTA'nın istatistiksel olarak Ca(OH)₂ göre daha üstün olduğu, fakat, MTA'nın da sızıntıyı önlemede yetersiz kaldığı bildirilmiştir. İki yıl sonra yapılan diğer çalışmada ise 4mm kalınlığında MTA yerleştirilmesini takiben, kanalın kompozit rezinle doldurulmasının son derece başarılı sonuçlar verdiği bildirilmiştir⁵⁴. Ayrıca, aynı çalışmada ultrasonik bir alet yardımı ile kanala

yerleştirilen MTA'nın sızıntıyı önlemede daha iyi olduğu da not edilmiştir⁵⁴.

Shabahang ve ark.⁵⁵ köpeklerin, önce deneysel amaçlı enfekte edilmiş ve daha sonra Ca(OH)₂ kullanılarak dezenfekte edilmiş, kök ucu açık, küçük azı dişlerinde MTA'yı apikal tıkaç oluşturmak amacıyla kullanmışlardır. Araştırmacılar, MTA'nın kök ucunda sert doku oluşumunu uyardığını ve enflamasyonu azalttığını belirtmişlerdir.

Literatürde açık apeksli immatür dişlerde apikal tıkaç olarak MTA'nın kullanılmasının başarılı sonuçlar verdiğini gösteren olgu raporları da mevcuttur⁵⁶⁻⁵⁸.

Furka ve Kök Perforasyonlarının Onarımında Tamir Materyali Olarak MTA Kullanılması

Furka ve kök perforasyonları, iç rezorbsiyonun periapikal dokulara yayılması sonucu veya kök kanal tedavisi ve post yüzeyi hazırlığı sırasında iatrojenik olarak oluşabilir. Bu tip durumlarda uygulanan tedavi yaklaşımı, genellikle kanal içerisinden veya cerrahi yolla olmaktadır. Bu amaçla Cavit, ZnOE, Ca(OH)₂, amalgam, güta-perka, trikalsiyum fosfat ve hidroksiapatit gibi maddeler denenmiştir. Fakat, henüz ideal özellikleri taşıyan bir materyal bulunamamıştır^{2,39}.

Lee ve ark.¹ 1993 yılında yaptıkları çalışmalarında, çekilmiş dişlerde deneysel olarak oluşturulan kök perforasyonlarında MTA'nın tıkaçlama yeteneğini, amalgam ve IRM göre çok daha az sızıntı gösterdiğini saptamışlardır.

Nakata ve ark.⁵⁹ ise deneysel bakterial sızıntı modelinde, furka perforasyonları oluşturarak amalgam ve MTA'nın etkinliğini karşılaştırdıkları çalışmalarında, MTA'nın "fusobakterium nucleatum"

Mineral Trioksit Agregat ve
Pedodontideki Önemi



sızıntısını önlemede, amalgama karşı daha üstün olduğunu bildirmişlerdir.

Ford ve ark.⁶⁰, köpeklerin alt çene küçük azı dişlerinde deneysel olarak oluşturdukları furka perforasyonlarında, MTA ve amalgamı histopatolojik olarak incelemiştir. Tedavisi hemen yapılan grupta, tüm amalgam örneklerinde enflamasyon görülürken, MTA içeren 6 örneğin sadece 1 tanesinde enflamasyon gözlemlendiği ve enflamasyon gözlenmeyen örneklerde, bir miktar sement olduğu bildirilmiştir. Tedavisi gecikmiş olan grupta ise, tüm amalgam örneklerinde enflamasyon gözlenirken, MTA içeren 7 örneğin sadece 4'ünde enflamasyon tespit edilmiştir.

Holland ve ark.⁶¹ 48 adet köpek dişinde deneysel olarak oluşturdukları, lateral kök perforasyonlarının tamirinde MTA, kontrol grubu olarak ise Sealapex kullanmışlardır. Otuz ve 180 günlük histolojik inceleme sonuçlarına göre, MTA kullanılan örneklerin büyük çoğunluğunda enflamasyon olmadığı ve sement birikimi gözlemlendiği bildirilirken, 180 gün sonundaki incelemelerde, Sealapex materyalinin, örneklerin tümünde kronik enflamasyona neden olduğu ve sadece 3 örnekte sement oluşumunu sağladığı kaydedilmiştir.

Perforasyon tamir materyali olarak MTA kullanılan 60 hastanın uzun dönem takip sonuçlarına yer verilen bir çalışmada, klinik ve radyografik değerlendirme sonunda hiçbir hastada başarısızlık ile karşılaşılmamıştır⁶².

Bu bilgiler ışığında, furka ve kök perforasyonlarının tamirinde kullanılabilecek en iyi materyalin MTA olduğu konusunda bir fikir birliği oluşmaktadır.

Retrograd Dolgu Materyali Olarak MTA Kullanılması

Retrograd dolgu materyali olarak bu güne kadar birçok materyal denenmiştir. Fakat, vital dokularla tam uyumlu olmamaları, periradiküler dokuların rejenerasyonunu tetikleyememeleri ve enfekte kök kanalından irritanların periradiküler alana sızmasını engelleyememeleri nedeni ile henüz ideal özelliklere sahip bir retrograd dolgu materyali bulunamamıştır. Son yıllarda yapılan birçok çalışmada, retrograd dolgu materyali olarak MTA'nın başarısı araştırılmaktadır^{2,39}.

Materyalin geliştirildiği ilk yıllarda, Torabinejad ve ark.⁶³, tek köklü dişlerin kök uçlarına açılan 3 mm derinliğindeki retrograd kavitelere MTA, Süper-EBA ve amalgam materyallerini yerleştirerek, "rhodamine B floresan boyası" ile mikrosızıntılarını incelemiştir. Çalışma sonunda, MTA'nın, amalgam ve Süper-EBA'ya göre daha az sızıntıya neden olduğu görülmüştür.

Shipper ve ark.⁶⁴ oluşturdukları SEM çalışma modelinde, retrograd dolgu materyali olarak amalgam ve MTA'nın marjinal adaptasyonlarını değerlendirmişlerdir. Çalışmada 20 adet çekilmiş tek köklü maksiller diş kullanılmıştır. Sonuç olarak araştırmacılar, MTA'nın marjinal adaptasyonda amalgama göre daha üstün olduğunu bulmuşlardır.

Torabinejad ve ark.⁶⁵ yaptıkları bir çalışmada, retrograd kavitelere, MTA, amalgam, Süper-EBA ve IRM ile doldurulan tek köklü dişlerin kanallarındaki bakterilerin mikrosızıntısını incelemiştir. Araştırmacılar, 90. günün sonunda MTA ile doldurulan dişlerde hiçbir sızıntı tespit edemezken,



diğer materyallerin 15. ve 34. günler arasında sızıntıya neden olduğunu görmüşlerdir.

Bu konuda yapılan birbirine benzer iki çalışmadan 1999 yılında yapılan birinci çalışmada⁶⁶, retrograd dolgu materyali olarak MTA, Süper-EBA, kompozit ve amalgam, 2003 yılında yapılan ikinci çalışmada⁶⁷ ise hidroksiapatit simanı, MTA ve Süper-EBA materyallerinin, mikrosızıntıyı önleme kapasiteleri bakteriyel sızıntı modeli kullanılarak, değerlendirilmiştir. Fakat, materyaller arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık kaydedilememiştir.

Retrograd dolgu materyali olarak Regan ve ark.⁶⁸ MTA ile Diaket'i, Chong ve ark.⁶⁹ ise MTA ile IRM'yi yaptıkları çalışmalarda karşılaştırmışlardır. Fakat, MTA ile diğer materyaller arasında anlamlı bir farklılık bulunamamıştır.

Bu konuda yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar genel olarak incelendiğinde, araştırmacılar arasında bir fikir birliğinin henüz oluşmadığı görülmektedir. Bu nedenle, MTA'nın retrograd dolgu materyali olarak kullanılabilmesi için ileri çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Kök Kırıklarında MTA Kullanılması

Horizontal kök kırığı ve 3. derece mobilite bulunan üst orta keser dişte, Schwartz ve ark.⁷⁰ koronal parçanın pulpasını uzaklaştırdıktan sonra, apikal parçanın pulpasını canlı olarak bırakmış, kök kırığı bölgesine MTA yerleştirmişler ve kanal tedavisi tamamlanan dişten 6 ay sonunda başarılı sonuçlar aldıklarını bildirmişlerdir.

Torabinejad ve Chivian⁵ vertikal kök kırıklarının sızdırmazlığının sağlanmasında MTA'nın başarıyla kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

MTA'nın Pedodonti Açısından Önemi

Derin çürüklere sahip süt dişlerinin pulpa tedavileri ve immatür köklere sahip genç daimi dişlerin kök kanal tedavileri, pedodonti kliniğinde her gün sıkça karşılaşılan problemlerin başında gelmektedir. Çünkü henüz beklentilere cevap verebilecek nitelikte ideal bir tedavi materyali geliştirilememiştir.

Derin çürüklere sahip süt dişlerinde görülen pulpa açılmalarında, direkt pulpa kuafajı genellikle başarısızlıkla sonuçlanmakta ve bu dişlerde daha radikal bir tedavi olan amputasyon tedavisi tercih edilmektedir. Süt dişlerine uygulanan amputasyon tedavileri sırasında tercih edilen materyallerin başında formokrezol gelmektedir. Fakat, formokrezolün başta toksik, mutajenik ve karsinojenik potansiyelinin olması gibi birçok olumsuz etkisi vardır. Bu nedenle, elektrocerrahi, lazer, ferrik sülfat, glutaraldehit, "freeze-dried bone", "bone morphogenetic protein" ve "osteogenic protein" gibi çok çeşitli alternatif yöntemler ve materyaller denenmiş, fakat, yeterli klinik başarı kaydedilememiştir.

İmmatür dişlerin kök kanal tedavisinde ise, halen en tercih edilen yöntem, Ca(OH)₂ ile apeksifikasyon işlemini takiben dişin restore edilmesidir. Fakat, bu yöntem için çok sayıda seansa ihtiyaç duyulması, Ca(OH)₂'in zamanla sızıntıyı önlemede yetersiz kalması ve dişin kırılma direncini azaltması gibi nedenlerden dolayı, yeni materyal arayışı halen devam etmektedir.

Tüm bu nedenlerden dolayı, dokularda rejenerasyonu tetikleyen, mikroorganizma geçişini yeteri kadar önleyebilen, biyo-uyumluluğu yüksek ve çocuklarda güvenle kullanılacak bir materyalin geliştirilmesi, pedodontistler için önemlidir. Yapılan



çok sayıdaki in-vivo, in-vitro ve hayvan çalışmalarının sonuçları değerlendirildiğinde, pedodontide uygulanan birçok tedavi prosedüründe MTA'nın güvenle ve başarıyla kullanılmasının ve rutin klinik kullanıma girmesinin mümkün olduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Lee SJ, Monsef M, Torabinejad M. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforations. *J Endod.* 1993;19(11):541-4.
2. Rao A, Rao, A, Shenoy R. Mineral Trioxide Aggregate-A Review. *J Clin Pediatr Dent.* 2009;34(1):1-8.
3. Parirokh M, Torabinejad M. Mineral trioxide aggregate: A comprehensive literature review-Part I: Chemical, physical and antibacterial properties. *J Endod.* 2010;36(1):16-27.
4. Camilleri J, Montesin FE, Brady K, Sweeney R, Curtis RV, Ford TR. The constitution of mineral trioxide aggregate. *Dent Mater.* 2005;21(4):297-303.
5. Torabinejad M, Chivian N. Clinical applications of mineral trioxide aggregate. *J Endod.* 1999;25(3):197-205.
6. Torabinejad M, Hong CU, McDonald F, Pitt Ford TR. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *J Endod.* 1995;21(7):349-53.
7. Shah PM, Chong BS, Sidhu SK, Ford TR. Radiopacity of potential root-end filling materials. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1996;81(4):476-9.
8. Sluyk SR, Moon PC, Hartwell GR. Evaluation of setting properties and retention characteristics of mineral trioxide aggregate when used as a furcation perforation repair material. *J Endod.* 1998;24(11):768-71.
9. Levenstein H. Obturating teeth with wide open apices using mineral trioxide aggregate : a case report. *SADJ (South Africa Dental Journal).* 2002;57:270-3.
10. Aminoshariae A, Hartwell GR, Moon PC. Placement of mineral trioxide aggregate using two different techniques. *J Endod.* 2003;29:679-82.
11. Nekoofar MH, Adusei G, Sheykhrezae MS, Hayes SJ, Bryant ST, Dummer PMH. The Effect of condensation pressure on selected physical properties of mineral trioxide aggregate. *Int Endod J,* 2007;40:453-61.
12. Fridland M, Rosado R. Mineral trioxide aggregate (MTA) solubility and porosity with different water-to-powder ratios. *J Endod.* 2003;29(12):814-7.
13. Kogan P, He J, Glickman GN, Watanabe I. The effects of various additives on setting properties of MTA. *J Endod.* 2006;32:569-72.
14. Torabinejad M, Hong CU, Pitt Ford TR, Kettering JD. Antibacterial effects of some root-end filling materials. *J Endod.* 1995;21(8):403-6.
15. Estrela C, Bammann LL, Estrela CR, Silva RS, Pécora JD. Antimicrobial and chemical study of MTA, Portland cement, calcium hydroxide paste, Sealapex and Dycal. *Braz Dent J.* 2000;11(1):3-9.
16. Eldeniz AU, Hadımlı HH, Ataoğlu H, Orstavik D. Antibacterial effect of selected root-end filling materials. *J Endod.* 2006;32:345-9.
17. 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(6):429-31.

18. Al-Nazhan S., Al-Judai A. Evaluation of antifungal activity of mineral trioxide aggregate. *J Endod.* 2003;29(12):826-7.

19. Al-Hezaimi K, Al-Hamdan K, Naghshbandi J, Oglesby S, Simon JH, Rotstein I. Effect of white-colored mineral trioxide aggregate in different concentrations on *Candida albicans* in vitro. *J Endod.* 2005;31:684-6.

20. Torabinejad M, Parirokh M. Mineral Trioxide Aggregate: A comprehensive literature review-Part II: Leakage and biocompatibility investigations. *J Endod.* 2010;36(2):190-202.

21. Torabinejad M, Smith PW, Kettering JD, Pitt Ford TR. Comparative investigation of marginal adaptation of mineral trioxide aggregate and other commonly used root-end filling materials. *J Endod.* 1995;21(6):295-9.

22. Bates CF, Carnes DL, del Rio CE. Longitudinal sealing ability of mineral trioxide aggregate as a root-end filling material. *J Endod.* 1996;22(11):575-8.

23. Wu MK, Kontakiotis EG, Wesselink PR. Long-term seal provided by some root-end filling materials. *J Endod.* 1998;24(8):557-60.

24. Daoudi MF, Saunders WP. In vitro evaluation of furcal perforation repair using mineral trioxide aggregate or resin modified glass ionomer cement with and without the use of the operating microscope. *J Endod.* 2002;28(7):512-5.

25. Tang HM, Torabinejad M, Kettering JD. Leakage evaluation of root-end filling materials using endotoxin. *J Endod.* 2002;28(1):5-7.

26. Kettering JD, Torabinejad M. Investigation of mutagenicity of mineral trioxide aggregate and other commonly used root-end filling materials. *J Endod.* 1995;21(11):537-42.

27. Torabinejad M, Hong CU, Pitt Ford TR, Kettering JD. Cytotoxicity of four root-end filling materials. *J Endod.* 1995;21(10):489-92.

28. Braz MG, Camargo EA, Salvadori DMF, Marques MEA, Ribeiro DA. Evaluation of genetic damage in human peripheral lymphocytes exposed to mineral trioxide aggregate and Portland cements. *J Oral Rehab.* 2006;33:234-9.

29. Koh ET, McDonald F, Pitt Ford TR, Torabinejad M. Cellular response to mineral trioxide aggregate. *J Endod.* 1998;24(8):543-7.

30. Torabinejad M, Hong CU, Lee SJ, Monsef M, Pitt Ford TR. Investigation of mineral trioxide aggregate for root-end filling in dogs. *J Endod.* 1995;21(12):603-8.

31. Torabinejad M, Pitt Ford TR, McKendry DJ, Abedi HR, Miller DA, Kariyawasam SP. Histologic assessment of mineral trioxide aggregate as a root-end filling in monkeys. *J Endod.* 1997;23(4):225-8.

32. Moretton TR, Brown CE, Legan JJ, Kafrawy AH. Tissue reactions after subcutaneous and intraosseous implantation of mineral trioxide aggregate and ethoxybenzoic acid cement. *J Biomed Mater Res.* 2000;52(3):528-33.

33. Torabinejad M, Hong CU, Pitt Ford TR, Kariyawasam SP. Tissue reaction to implanted Super-



EBA and mineral trioxide aggregate in the mandible of guinea pigs: a preliminary report. *J Endod.* 1995;21(11):569-71.

34. 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(7):468-71.

35. Dinçol ME. Çeşitli endodontik materyallerin kemik içi implantasyonu ile biyokompatibilitelerinin ve doku yanıtlarının histopatolojik olarak araştırılması. Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2001.

36. Zhu Q, Haglunda R, Safavi KE, Spangberg LS. Adhesion of human osteoblasts on root-end filling materials. *J Endod.* 2000;26(7):404-6.

37. Keiser K, Johnson CC, Tipton DA. Cytotoxicity of mineral trioxide aggregate using human periodontal ligament fibroblasts. *J Endod.* 2000;26(5):288-91.

38. Osorio RM, Hefti A, Vertucci FJ, Shawley AL. Cytotoxicity of endodontic materials. *J Endod.* 1998;24(2):91-6.

39. Parirokh M, Torabinejad M. Mineral Trioxide Aggregate: A comprehensive literature review-Part III: Clinical applications, drawbacks and mechanism of action. *J Endod.* 2010;36(3):400-13.

40. Ford TR, Torabinejad M, Abedi HR, Bakland LK, Kariyawasam SP. Using mineral trioxide aggregate as a pulp-capping material. *J Am Dent Assoc.* 1996;127(10):1491-4.

41. Faraco IM Jr, Holland R. Response of the pulp of dogs to capping with mineral trioxide aggregate or

a calcium hydroxide cement. *Dent Traumatol.* 2001;17(4):163-6.

42. Tziafas D, Pantelidou O, Alvanou A, Belibasakis G, Papadimitriou S. The dentinogenetic effect of mineral trioxide aggregate (MTA) in short term capping experiments. *Int Endod J.* 2002;35(3):245-54.

43. Dominguez MS, Witherspoon DE, Gutmann JL, Opperman LA. Histological and scanning electron microscopy assessment of various vital pulp-therapy materials. *J Endod.* 2003;29(5):324-33.

44. Andelin WE, Shabahang S, Wright K, Torabinejad M. Identification of hard tissues after experimental pulp capping using dentin sialoprotein (DSP) as a marker. *J Endod.* 2003;29(10):646-50.

45. Aeinehchi M, Eslami B, Ghanbariha M, Saffar AS. Mineral trioxide aggregate (MTA) and calcium hydroxide as pulp-capping agents in human teeth; a preliminary report. *Int Endod J.* 2003;36(3):225-31.

46. Bodem O, Blumenshine S, Zeh D, Koch MJ. Direkt pulp capping with mineral trioxide aggregate in a primary molar: a case report. *Int J Paediatr Dent.* 2004;14(5):376-9

47. Eidelman E, Holan G, Fuks AB. Mineral trioxide aggregate vs. formocresol in pulpotomized primary molars: a preliminary report. *Pediatr Dent.* 2001;23(1):15-8.

48. Ebrahim J, Mohammad RS, Neda A. Histopathologic responses of Dog's dental pulp to mineral trioxide aggregate, bio active glass, formocresol, hydroxyapatite. *Dent Res J.* 2007;4:83-7.

49. Salako N, Joseph B, Ritwik P, Salonen J, John P, Junaid TA. Comparison of bioactive glass, mineral



trioxide aggregate, ferric sülfate and formocresol as pulpotomy agents in rat molar. *Dent Traumatol.* 2003;19(6):314-20.

50. Holland R, de Souza V, Murata SS, Nery MJ, Bernabé PF, Otoboni Filho JA, Dezan Júnior E. Healing process of dog pulp after pulpotomy and pulp covering with mineral trioxide aggregate or Portland cement. *Braz Dent J.* 2001;12(2):109-13.

51. Agamy HA, Bakry NS, Mounir MM, Avery DR. Comparison of mineral trioxide aggregate and formocresol as pulp-capping agents in pulpotomized primary teeth. *Pediatr Dent.* 2004;26(4):302-9.

52. Andreasen JO, Farik B, Munksgaard EC. Long term calcium hydroxide as a root canal dressing may increase risk of root fracture. *Dent Traumatol.* 2002;18(3):134-7.

53. Hachmeister DR, Schindler WG, Walker WA 3rd, Thomas DD. The sealing ability and retention characteristics of mineral trioxide aggregate in a model of apexification. *J Endod.* 2002;28(5):386-90.

54. Lawley GR, Schindler WG, Walker WA 3rd, Kolodrubetz D. Evaluation of ultrasonically placed MTA and Fracture resistance with intracanal composite resin in a model of apexification. *J Endod.* 2004;30(3):167-72.

55. Shabahang S, Torabinejad M, Boyne PP, Abedi H, McMillan P. A comparative study of root-end induction using osteogenic protein-1, calcium hydroxide and mineral trioxide aggregate in dogs *J Endod.* 1999;25(1):1-5.

56. Hayashi M, Shimizu A, Ebisu S. MTA for obturation of mandibular central incisors with open apices: case report *J Endod.* 2004;30(2):120-2.

57. Maroto M, Barbería E, Planells P, Vera V. Treatment of a non vital immature incisor with mineral trioxide aggregate (MTA). *Dent Traumatol.* 2003;19(3):165-9.

58. Giuliani V, Baccetti T, Pace R, Pagavino G. The use of MTA in teeth with necrotic pulps and open apices. *Dent Traumatol.* 2002;18(4):217-21.

59. KK. Nakata TT, Bae KS, Baumgartner JC. Perforation repair comparing mineral trioxide aggregate and amalgam. *J Endod.* 1998;24(3):184-6.

60. Ford TR, Torabinejad M, McKendry DJ, Hong CU, Kariyawasam SP. Use of mineral trioxide aggregate for repair of furcal perforations. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1995;79(6):756-63.

61. Holland R, Filho JA, de Souza V, Nery MJ, Bernabé PF, Junior ED. Mineral trioxide aggregate repair of lateral root perforations. *J Endod.* 2001;27(4):281-4.

62. Main C, Mirzayan N, Shabahang S, Torabinejad M. Repair of root perforations using mineral trioxide aggregate: a long term study. *J Endod.* 2004;30(2):80-3.

63. Torabinejad M, Watson TF, Pitt Ford TR. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate as a retrograde root filling material. *J Endod.* 1993;19(12):591-5.

64. Shipper G, Grossman ES, Botha AJ, Cleaton-Jones PE. Marginal adaptation of mineral trioxide aggregate (MTA) compared with amalgam as a root end filling material: alow-vacuum (LV) versus high-vacuum (HV) SEM study. *Int Endod J.* 2004;37(5):325-36.



65. Torabinejad M, Rastegar AF, Kettering JD, Pitt Ford TR. Bacterial leakage of mineral trioxide aggregate as a root-end filling material. J Endod. 1995;21(3):109-12.

66. Adamo HL, Buruiana R, Schertzer L, Boylan RJ. A comparison of MTA, Super-EBA, composite and amalgam as a root-end filling material using a bacterial microleakage model. Int Endod J. 1999;32(3):197-203.

67. Mangin C, Yesilsoy C, Nissan R, Stevens R. A comparative sealing ability of hidroxyapatite cement, mineral trioxide aggregate and super ethoxybenzoic acid as root end filling materials. J Endod. 2003;29(4):261-4.

68. Regan JD, Gutmann JL, Witherspoon DE. Comparison of diaket and MTA when used as root-end filling materials to support regeneration of the periradiküler tissues. Int Endod J. 2002;35(10):840-7.

69. Chong BS, Pitt Ford TR, Hudson MB. A prospective clinical study of mineral trioxide aggregate and IRM when used as root-end filling materials in endodontic surgery. Int Endod J. 2003;36(8):520-6.

70. Schwartz RS, Mauger M, Clement DJ, Walker WA. Mineral trioxide aggregate: A new material for endodontics J Am Dent Assoc. 1999;30:967-75.

İletişim Adresi

Yard. Doç. Dr. Hüseyin KARAYILMAZ

Akdeniz Üniversitesi,

Diş Hekimliği Fakültesi,

Pedodonti Anabilim Dalı,

Dumlupınar Bulvarı, 07058,

Kampüs, Antalya, TÜRKİYE

Tel: 0 242 310 69 80

Faks: 0 242 310 69 67

E-posta: dthkarayilmaz@yahoo.com