

MİNERAL TRİOXİDE AGGREGATE: LİTERATÜR DERLEMESİ

MINERAL TRIOXIDE AGGREGATE: LITERATURE REVIEW

Yrd. Doç. Dr. Emine ŞEN TUNÇ*

Prof. Dr. Serap ÇETİNER**

ÖZET

Mineral trioxide aggregate (MTA) diş hekimliğine yeni tanıtılan materyallerden biridir. Mineral trioxide aggregate başlangıçta periapikal cerrahi uygulamalarında kök kanal sistemi ile çevre dokular arasındaki ilişkiyi engellemede kullanılmak üzere, kök ucu dolgu maddesi olarak geliştirilmiştir. Materyal günümüzde kök ucu dolgusu, direkt pulpa kuafajı, kök ve furkal perforasyonlarının tamiri ve apeksifikasyon gibi farklı klinik uygulamalarda da kullanılmaktadır. Bu literatür derlemesinde, MTA'nın kimyasal, fiziksel, antimikrobiyal ve biyolojik özellikleri ile klinik uygulama şekilleri sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Mineral trioxide aggregate

ABSTRACT

Mineral trioxide aggregate (MTA) is recently one of the introduced dental materials. First, it was developed as a root-end filling material for periapical surgery and for the sealing barrier between the root canal system and the surrounding tissues. Nowadays, mineral trioxide aggregate has been used also different clinical applications such as root-end fillings, direct pulp caps, perforation repairs in roots or furcations and apexification. In the review, chemical, physical, antimicrobial, biologic properties and clinical applications of MTA are presented.

Key Words: Mineral trioxide aggregate

GİRİŞ

İlk kez 1993 yılında diş hekimliğine tanıtılan Mineral trioxide aggregate (MTA)¹, 1998 yılında Amerikan Gıda ve İlaç Yönetimi (FDA) tarafından onaylanması ile, hem deneysel hem de klinik olarak geniş çaplı kullanım alanı bulmuştur². Günümüze değin;

- cerrahi ve cerrahi olmayan yaklaşımlarla kök ucu dolgusunda,³⁻⁹
- kök ve furkasyon perforasyonlarının tamirinde,^{1, 10-13}
- süt ve sürekli dişlerin direkt pulpa kuafajında,¹⁴⁻¹⁶
- süt dişi pulpatomi tedavilerinde,¹⁷⁻¹⁹
- Cvek pulpatomisinde,^{20,21}
- dens invajinatusun profilaktik parsiyel pulpatomi tedavisinde,²⁰
- apeksifikasyonda,²³⁻²⁶
- daimi dişlerin kök kanal tedavisinde, kanal patı olarak,²⁷
- retine süt dişlerinin kök kanal tedavisinde,²⁸

-rezorbtif defektlerin tamirinde,^{29,30}

-endodontik tedavi dişlerin kanal içi beyazlatma işlemlerinde bariyer olarak,³¹

-füzyon gözlenen ve endodontik tedavi gereksinimi olan dişlerin iletişim bölgesini kapamada³² kullanıldığı görülmektedir.

İçerik Özellikleri

Günümüze değin, ideal formülasyon ve renk özelliklerine ulaşabilmek amacı ile oldukça yakın kimyasal içeriğe sahip olmakla birlikte, partikül boyutu değiştirilmiş ve farklı mineral oksitler içeren üç farklı MTA türünün geliştirildiği görülmektedir^{33,34}. Günümüzde ise, Dentsply tarafından Pro-Root™ MTA (Dentsply, Tulsa Dental) adı ile satılmakta olan materyalin, gri ve beyaz renkte iki çeşidinin bulunduğu görülmektedir. Her iki MTA türü de, ağırlıkça %75 portland çimentosu, %20 bizmut oksit ve %5 alçıdan oluşmaktadır^{35,36}. Materyalin sertleşme zamanı alçı ile düzenlenirken³⁷, opasitesi yapıya ilave edilen bizmutoksit ile sağlanmaktadır³⁸.

*Ondokuz Mayıs Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Pedodonti Anabilim Dalı

**Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Pedodonti Anabilim Dalı

Görüldüğü gibi, ProRoot MTA temelde portland çimentosundan meydana gelmektedir. Portland çimentosunun içerdiği elementler; CaO (%58,5), SiO₂ (%17,7), Al₂O₃ (%4,5), MgO (%3,3), SO₃ (%3), Fe₂O₃ (%2,9), K₂O (%0,9), N₂O'dir (%0,2). Bu elementlerden oluşan temel bileşikler ise; trikalsiyum silikat, dikalsiyum silikat, trikalsiyum alüminat, tetrakalsiyum alüminoferrit, kalsiyum sülfat, alkali asitler ve diğer bileşiklerdir³⁹⁻⁴².

Beyaz ve gri MTA'nın içerik özellikleri birbirine benzemektedir^{36,39}. Ancak, renk özellikleri geliştirilerek 2002 yılında piyasaya sürülen beyaz MTA'da olası renkleşme problemlerini ortadan kaldırmak amacı ile yapıdan tetrakalsiyum alumina ferrit çıkarılmıştır³⁶. Nitekim, gri ve beyaz MTA'nın içerik özelliklerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada, beyaz MTA'da demir oksit (%1000), alüminyum oksit (%122) ve magnezyum oksit (%130) konsantrasyonlarının gri MTA'ya göre önemli oranlarda azaltıldığı bildirilmiştir⁴³.

Yakın zamanda materyalin maliyetinden kaynaklanan dezavantajları gidermek amacı ile, %80 oranında portland çimentosu içeren MTA Angelus (Odonto-Logika, Ind. Prod. Odsont. Ltda, Londrina, Parana, Brazil) adlı, bir başka ticari MTA türünün de piyasaya sürüldüğü görülmektedir⁴⁴.

Fizik-Mekanik Özellikleri

MTA tozu su ile karıştırıldığında, yaklaşık 3 saatte sertleşen kolleidal jel haline gelmektedir³⁸. Ancak, beyaz MTA'da sertleşme süresinin daha uzun olduğu yönünde görüş bildiren araştırmalar da vardır^{45,46}.

Sertleşme reaksiyonu 24 saatten uzun sürmekle beraber¹³, materyalin sertleşmesi su veya kan varlığından etkilenmemektedir³.

Materyal karışımın özellikleri; partikül büyüklüğüne, toz/likit oranına, uygulama sahasının ısısına, alandaki nem varlığına ve karışım içindeki hava kabarcıklarına bağlı olarak değişebilmektedir⁸.

Sertleşme reaksiyonunun başlangıcında pH 10,2 iken, sertleşme reaksiyonu tamamlandıktan sonra, kalsiyum hidroksit gibi yaklaşık 12,5 değerine yükselmektedir³⁸.

Materyal, hem dentinden hem de IRM ve Super-EBA gibi kök ucu dolgu maddelerinden daha radyopaktır^{38,47}.

Örtücülük Özellikleri

MTA, başlangıçta kök ucu dolgu maddesi ve perforasyon tamir materyali olarak geliştirildiği için örtücülük yeteneği ve sızıntı değerlerinin, bu amaçla

sıkça kullanılan amalgam, IRM, Super-EBA gibi materyallerle karşılaştırıldığı görülmektedir. Bu araştırmalarda değerlendirme amacı ile, farklı özelliklere sahip ve birbirlerine göre farklı üstünlükleri olan; boya penetrasyonu, radyoizotop penetrasyonu, bakteriyel penetrasyon, elektrokimyasal değerlendirmeler ve sıvı filtrasyonunun yanı sıra, SEM ile konfokal mikroskopların da kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmaların tamamında materyalin örtücülük özellikleri bakımından karşılaştırma materyallerine benzer veya çok daha üstün olduğu gösterilmiştir^{3,6-8,10,11,48,49}.

Örtücülük özellikleri bakımından elde edilen başarılı sonuçlar; materyalin doğasına, sertleşme sırasında genişlemesine ve antimikrobiyal özelliklerine bağlanmaktadır^{6,11,48}. Materyalin dezavantajı olarak bildirilen uzun sertleşme süresinin, büzülmenin azalmasına ve dolayısı ile simanın örtücülük özelliklerinin gelişimine katkıda bulunduğu bildirilmektedir^{16,38}. Ayrıca, doku sıvıları ile reaksiyona giren materyalin zamanla çözünmesine bağlı olarak geliştiği bildirilen dentin ve apatit tabakası arasındaki kimyasal reaksiyonun, örtücülük özelliklerini geliştirdiği ve başlangıçtaki mekanik tutunmaya ilave olarak gelişen bu kimyasal bağlanmanın, örtücülükte etkili olduğu ileri sürülmektedir⁵⁰.

Etki Mekanizması

Materyalin etki mekanizmasının genel olarak kalsiyum hidroksit ile benzerlik sergilediği⁵¹⁻⁵³ örtücülük, biyoyumluluk, alkalinite ve materyale özgü diğer özelliklerin kombinasyonunun mevcut etkilerin ortaya çıkmasında rol oynadığı bildirilmektedir¹⁶.

Materyalin temelde kalsiyum hidroksit içermediği, yapısındaki kalsiyum oksitin doku sıvıları ile temasa geçince kalsiyum hidroksit haline dönüşeceği yönünde görüşler mevcuttur^{51,52}. Ancak, MTA'nın biyolojik özelliklerinin fizikokimyasal temelini inceleyen bir araştırmada bu görüşten farklı olarak, sentetik doku sıvılarında bekletilen materyalden salınan temel iyonun kalsiyum olduğu ve kalsiyumun doku sıvılarındaki fosfatlarla reaksiyona girerek hidroksiapatit oluşumu gözlemlendiği bildirilmektedir. Materyalin örtücülük yeteneği, biyoyumluluğu ve dentinojenik aktivitesinde bu fizikokimyasal reaksiyon sonucu oluşan hidroksiapatitin rol oynadığı ileri sürülmektedir⁵⁰.

Antimikrobiyal Özellikler

Materyalin antimikrobiyal özelliklerinin belirlenmesi amacı ile yapılan farklı çalışmalarda, çeşitli MTA türlerinden birbiri ile uyumlu olmayan sonuçlar elde edilmiştir. Bu farklılıkların ise, değerlendirme yöntemlerinin

den, inkübasyon sürelerindeki farklılıktan ve kullanılan test mikroorganizmalarındaki farklılıktan kaynaklandığı görülmektedir^{41,54-57}.

Trobinejad ve ark.⁵⁴ ve Estela ve ark.'ları⁴¹ materyalin fakültatif bakterilere karşı etkin olduğunu, ancak anaerobik bakterilere karşı hiç etkinliğini bulunmadığını bildirmişlerdir. Bununla beraber Stowe ve ark.'ları⁵⁶ ise, fakültatif ve anaerobik bakterilere karşı materyalin antimikrobiyal etkinlik gösterdiğini bildirmişlerdir.

Ayrıca, materyalin antifungal özelliği hakkında ise, çelişkili sonuçlar rapor edilmiştir^{41,55-57}.

Son yıllarda, materyalin antimikrobiyal özelliklerini geliştirmek amacı ile klorheksidin gibi ajanlarla karıştırılarak kullanılması yönünde çalışmalar da yapılmaktadır⁵⁶. Ancak, bu uygulamanın, sitotoksik özellikleri arttırdığı gösterilmiştir⁵⁸.

Biyouyumluluk

1-İn Vitro Toksikite Değerlendirme Testleri

Materyalin toksik profilini belirlemeye yönelik in vitro araştırmaların çoğunda, amalgam, IRM, Super-EBA gibi kök ucu dolgu maddeleri ile karşılaştırmalı değerlendirmelerin yapıldığı görülmektedir⁵⁹⁻⁶³.

Farklı değerlendirme metotlarının kullanıldığı, bu araştırmalar sonucunda; karşılaştırma materyallerine göre, MTA ile daha başarılı sonuçlar elde edildiği ve MTA'nın biyouyumlu olduğu bildirilmektedir⁵⁹⁻⁶². Bu durumun, materyalin diş sert dokularına benzer içeriğinden kaynaklandığı düşünülmektedir³⁸. Ayrıca, materyalin biyouyumluluğunda hidrasyon sonucu oluşan kalsiyum hidroksitin rol oynadığını bildiren araştırma da mevcuttur³⁹.

İn vitro koşullarda, hücrel cevapların incelenmesine de izin veren bu değerlendirme yöntemleri sayesinde, MTA'nın osteoblastlar için aktif bir madde olduğu ve hücrel adhezyon için biyouyumlu bir yüzey alanı oluşturduğu da gösterilmiştir⁶¹.

2-Hayvan Çalışmaları

Hayvan çalışmaları doku implantasyonu ve kısa dönemli histolojik değerlendirmelerin yapıldığı hayvan deneylerini içermektedir.

MTA'nın lokal toksisitesini belirlemek amacı ile pek çok doku implantasyon çalışmalarının düzenlendiği görülmektedir^{51-53,64-66}. Materyalin amalgam, IRM, Super-EBA gibi kök ucu dolgu maddeleri ile karşılaştırıldığı araştırmalar sonucunda; biyouyumlu olduğu,

karşılaştırma materyallerine göre daha az inflamasyon yarattığı, ayrıca, kemik doku implantasyonları sonrası, diğer materyallerden farklı olarak, daha fazla MTA örneğinde kemik oluşumu meydana geldiği bildirilmektedir^{64,65}. MTA'nın kalsiyum hidroksit ve kalsiyum hidroksit içeren ajanlarla karşılaştırıldığı bağ doku implantasyon çalışmalarında ise, tüm materyaller için benzer sonuçlar elde edildiği ve köprü benzeri sert doku oluşumların gözlemlendiği bildirilmektedir^{51,53,66}.

Materyalin farklı klinik koşullarda kullanımını taklit amacı ile, kısa dönem takipli, histolojik değerlendirmelerin yapıldığı pek çok hayvan deneyi yapılmıştır^{4,5,12,16,25,67}.

MTA'nın kök ucu dolgu maddesi ve perforasyon tamir materyali olarak kullanımının değerlendirildiği hayvan çalışmaları sonucunda, MTA gruplarında, materyal üzerinde sement varlığı ve minimal inflamasyon ile başarılı bir iyileşme gözlemlendiği bildirilmektedir^{4,5,12}. Ayrıca, materyalin diş ve kemik dokuların rejenerasyonuna engel olmadığı, hatta sementoblastların sement oluşumu için matriks üretimini aktive ettiği iddia edilmektedir⁴.

Materyalin, pulpa kuafajı ve pulpatomi tedavilerindeki etkinliğinin değerlendirildiği hayvan çalışmalarında ise; MTA örneklerinin neredeyse tamamında inflamasyon gözlenmediği ve komşu dentin ile devamlılık gösteren tübüler yapıda sert doku oluşumları meydana geldiği bildirilmektedir^{16,67}. Kalsiyum hidroksit ile MTA'nın etki mekanizmalarının benzer olduğu ileri sürülse de, pulpa kuafajında iki materyalin uygulamaları sonrası farklı sonuçlar elde edildiği bildirilmektedir. Bu tablonun, MTA'nın iyi örtücülük özelliklerinden kaynaklandığı iddia edilmektedir⁶⁷.

MTA'nın apeksifikasyon tedavilerinde apikal tkaç olarak kullanılabilirliğinin değerlendirildiği bir hayvan çalışmasında ise, MTA örneklerinin neredeyse tamamında, kalsifik bariyer ile apikal kapanma meydana geldiği ve bu amaçla başarılı bir şekilde kullanılabileceği bildirilmektedir²⁵.

3- Klinik Çalışmalar

Deneyel anlamda uzun yıllardır kullanılmakta olan MTA'nın sınırlı sayıda klinik çalışma ile değerlendirildiği, bu araştırmaların büyük kısmının ise, olgu bildirimleri ile histolojik değerlendirmelerden oluştuğu, uzun dönem takipli insan çalışmalarının ise çok az sayıda olduğu görülmektedir^{2,14,17-19}.

MTA'nın insanlarda pulpa kuafaj ajanı olarak kalsiyum hidroksit ile karşılaştırılması sonucunda; kalsiyum hidroksitten daha başarılı olduğu bildirilmektedir¹⁴.

Materyalin süt azı dişlerinde pulpatomi ajanı olarak formokrezolle karşılaştırıldığı çalışmalarda ise, karşılaştırma grubuna göre daha başarılı sonuçlara ulaşıldığı ve süt diş pulpatomi tedavilerinde formokrezole alternatif olabileceği bildirilmektedir^{18,19}.

MTA'nın kök ucu dolgu maddesi olarak kullanımını değerlendirildiği uzun dönem takipli insan çalışmasında ise, MTA grubunda daha hızlı iyileşme ile daha başarılı sonuçlar elde edildiği bildirilmekle beraber, bu oranların karşılaştırma amacı ile seçilen IRM'den istatistiksel olarak farklı olmadığı bildirilmektedir².

MTA'nın Klinik Uygulama Tekniği ve Uygulama Alanları

Başlangıçta kök ucu dolgu maddesi ve perforasyon tamir materyali olarak geliştirilen MTA'nın zamanla pek çok farklı klinik uygulamada kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Hem materyalin kullanım kılavuzunda, hem de ürünü geliştiren araştırmacıların klinik uygulamalara yönelik makalelerinde, uygulama teknikleri ayrıntılı şekilde sunulmuştur. Buna göre; materyalin kullanımdan hemen önce hazırlanması ve tozun nemden uzak tutulması önerilmektedir. Toz, 3:1 oranında steril su ile cam veya kağıt üzerinde, plastik veya metal spatulalar yardımıyla karıştırılabilir. Uygulama sırasında materyal karışımının kuruduğu gözlenirse, uygun kıvam elde etmek amacı ile karışıma yeniden su ilavesi yapılabilir⁶⁸.

MTA karışımı, uygulama sahasına plastik veya metal bir taşıyıcı ile taşınabileceği gibi⁶⁸, bu amaçla şırınga tipi aletlerden de yararlanılabilir. Ayrıca, özellikle cerrahi uygulamalar sonrası materyalin sertleşme süresinin uzunluğundan kaynaklanan problemleri aşabilmek amacı ile daha önceden şekillendirilmiş materyal peletleri de kullanılabilir⁶⁹. Materyalin adaptasyonunda ise, kağıt konlar, el aletleri veya özel tepiciler kullanılabilir⁶⁸.

Materyalin sertleşmesini teşvik edebilmek amacı ile, üzerine nemli bir pamuk pelet ile IRM yerleştirilmesi^{9,68} ve yeterli sertleşme sağlanıncaya kadar (1-3 gün) beklenildikten sonra daimi restorasyonun yapılması önerilmektedir^{9,13,68}.

MTA'nın basınç dayancı düşük olduğu için daimi dolgu maddesi olarak kullanımı önerilmemektedir. Bu nedenle, hem materyalin hem de tamir edilen bölgenin korunması için, MTA'nın üzerinin hızlı sertleşen geçici bir

dolgu maddesi ile kapatılması önerilmektedir^{13,68}. Ancak, uyumsuz hastaların vital pulpa tedavilerinde kavitenin tamamen bu materyalle kapatılabileceği, bu durumda tedavi edilen diş ile karşıt diş arasına ıslak bir tampon konularak, materyalin sertleşmesinin sağlanabileceği bildirilmiştir⁹. Koronal giriş kavitelerinin MTA ile kapatılması durumunda, sonraki seanslarda ayrı bir kaide materyaline gerek kalmaksızın, kaide haline getirilen MTA üzerine kompozit restorasyonlar yapılabilmektedir³².

MTA'nın gerek vital pulpa tedavilerinde, gerekse perforasyon tamiri veya kök ucu dolgusu olarak kullanımında, uygulama öncesi yüzeyin sodyum hipoklorit gibi bir dezenfektan ile dezenfekte edilmesi önerilmektedir⁶⁸.

Nekrotik pulpalı açık apeksli dişlerde MTA kullanımında, kök kanal sisteminin dezenfeksiyonu amacı ile, bir hafta kalsiyum hidroksit uygulaması önerilmektedir. Bu sürenin sonunda, kalsiyum hidroksitin kanaldan uzaklaştırılmasının ardından, kök apeksinde 3-4 mm'lik bir MTA tıkaçının yeterli olacağı, eğer tıkaç yaratmada başarısız olunursa kanalın steril su ile yıkanıp, işlemin tekrarlanabileceği bildirilmiştir⁶⁸. MTA, apeksifikasyon tedavilerinde tek başına veya bir bariyer materyali ile birlikte kullanılabilir²⁴. Tıkaç olarak yerleştirilen MTA'nın sertleşmesinden sonra, kavitenin kalan kısmının gütâ ile doldurulabileceği bildirilmiştir^{24,68}. Ancak, son yıllarda tüm kök kanalının MTA ile doldurulabileceğini bildiren araştırmalar da vardır^{23,27}.

MTA'nın perforasyon tamir ajanı olarak kullanımında, uygulama sahasından taşma eğilimi göstermediği¹⁰, taşsa bile, materyal üzerinde sement depolanması meydana geldiği gösterilmiştir^{4,12}. Ayrıca, MTA, nem varlığında sertleştiği ve örtücülük özellikleri kan varlığından etkilenmediği için³, materyalin perforasyon üzerine uygulamalarında kuru bir yüzey hazırlanmasına veya bir bariyer yerleştirilmesine gerek olmadığı bildirilmektedir⁹. Ancak, bu görüşün aksine, materyalin işlenmesi ve yerleştirilmesindeki problemleri aşabilmek amacı ile, kuru yüzey sağlanması ve bir bariyer yerleştirilmesi gerektiğini bildiren araştırmalar da mevcuttur^{13,24}.

MTA'nın kök ucu dolgu maddesi olarak kullanımında, apeksifikasyon uygulamalarına benzer şekilde kök ucunda 4 mm'lik bir MTA tıkaçının oluşturulması önerilmektedir⁷⁰. Bu uygulamada, retrograt yolla kök ucu kaviteleri açılıp materyal yerleştirilebileceği gibi, kök kanalının MTA ile doldurulmasının ardından kök kanalının enfekte uç kısmının rezeke edilebileceği bildirilmiştir⁷¹.

Son yıllarda, materyalin kök kanal tedavisinde kanal dolgu patı olarak kullanımına yönelik araştırmalar da yapıldığı görülmektedir^{27,28}. Ancak, MTA geç rezorbe olduğu için, kök kanal dolgu maddesi olarak kullanımının, sadece daimi dişler ve retine süt dişleri ile sınırlı tutulması gerektiğini ileri sürülmektedir²⁸.

Dezavantajları

MTA, diş hekimliğinde üzerinde en fazla çalışılan materyallerden biridir. Ancak, materyal ile ilgili mevcut verilerin çoğu in vitro çalışmalar ve hayvan çalışmalarından derlenmiştir.

Materyalin maliyet, karıştırma güçlüğü, uzun sertleşme süresi, uygulama alanında dağılması gibi dezavantajlarının, klinik kullanımını sınırladığı bildirilmektedir^{2,39,69}. Ayrıca, materyalin gri renkte olan ilk çeşidinin pulpatomi ve pulpa kuafajı tedavilerinde kullanımı sonrası renklenmeye neden olabileceği de bildirilmektedir^{24,35}. Kullanımdaki bu güçlüklerin dışında, materyalin yüksek alkalinitesinin kök dentininin sertliğini etkilediğinin gösterilmesi de bir başka dezavantajdır⁷².

SONUÇ

Başlangıçta kök ucu dolgu maddesi olarak geliştirilen ancak, zamanla pek çok farklı klinik koşulda da kullanılabileceği ileri sürülen MTA, diş hekimliğinde üzerinde en fazla çalışılan materyallerden biridir. Materyalin etki mekanizması konusunda farklı görüşler bulunsa da, elde edilen başarılı sonuçlar genel olarak örtücülük, alkalinite ve biyouyumluluk özellikleri ile ilişkilendirilmektedir. Ayrıca, gerek antibakteriyel özellikleri, gerekse de kan varlığında sertleşebilmesi nedeniyle MTA pek çok klinik uygulama için umut vaat eden bir materyal olarak görülmektedir. Ancak, materyalle ilgili mevcut verilerin çoğu in vitro ve kısa dönem takipli klinik çalışmalara dayandırıldığından, kesin değerlendirme yapılabilmesi için konu ile ilgili uzun süreli-kontrollü klinik çalışmaların sonuçları beklenmelidir.

KAYNAKLAR

1. Lee SJ, Monsef M, Torabinejad M. Sealing ability of mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforations. *J Endod* 1993;19: 541-4.
2. Schwarz RS, Mauer M, Clement DJ, Walker WA. Mineral trioxide aggregate: a new material for endodontics. *JADA* 1999; 130: 967- 75.

3. 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: 520-6.
4. Torabinejad M, Higa RK, McKendrey DJ, Pitt Ford TR. Dye leakage of four root-end filling materials: effects of blood contamination. *J Endod* 1994; 20:159-63.
5. 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: 603-8.
6. Torabinejad M, Pitt Ford TR, McKendrey DJ, Abedi HR, Miller DA, Kariyawasam SP. Histologic assessment of mineral trioxide aggregate as a root-end filling in monkeys. *J Endod* 1997; 23: 225-8.
7. 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: 109-12.
8. 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: 295-9.
9. Torabinejad M, Watson TF, Pitt Ford TR. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate used as a retrograde root filling material. *J Endod* 1993; 19: 591-5.
10. Arens D, Torabinejad M. Repair of furcal perforations with mineral trioxide aggregate. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Endod* 1996; 82:84-8.
11. Nakata TT, Bae KS, Baumgartner JC. Perforation repair comparing mineral trioxide aggregate and amalgam using an anaerobic bacterial leakage model. *J Endod* 1998; 24: 184-6.
12. Pitt Ford TR, Torabinejad M, McKendrey DJ, Hong CU, Kariyawasam SP. Use of mineral trioxide aggregate for repair of furcal perforations. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Endod* 1995; 79: 756-63.
13. Sluyk S, Moon P, Hartwell G. Evaluation of setting properties and retention characteristics of MTA when used as a furcation perforation repair material. *J Endod* 1998; 24: 768-71.

14. Aeinehçi 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* 2002; 36: 225-31.
15. Bodem O, Blumenshine S, Zeh D, Koch MJ. Direct pulp capping with mineral trioxide aggregate in a primary molar: a case report. *Int J Paediatr Dent* 2004; 14: 376-9.
16. Pitt 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: 1491-4.
17. Agamy HA, Bakry NS, Mounir MMF, Avery DR. Comparison of mineral trioxide aggregate and formocresol as pulp-capping agents in pulpotomized primary teeth. *Pediatr Dent* 2004; 26: 302-9.
18. Eidelman E, Holan G, Fuks AB. Mineral trioxide aggregate vs. formocresol in pulpotomized primary molars: a preliminary report. *Pediatr Dent* 2000; 23: 15-8.
19. Holan G, Eidelman E, Fuks AB. Long-term evaluation of pulpotomy in primary molars using mineral trioxide aggregate or formocresol. *Pediatr Dent* 2005; 27: 129-36.
20. Bakland LK. Management of traumatically injured pulps in immature teeth using MTA. *J Calif Dent Assoc* 2000; 28: 855-8.
21. Karabucak B, Li D, Lim J, Iqbal M. Vital pulp therapy with mineral trioxide aggregate. *Dent Traumatol* 2005; 21: 240-3.
22. Koh ET, Pitt Ford TR, Kariyawasam SP, Chen NN, Torabinejad M. Prophylactic treatment of dens evaginatus using mineral trioxide aggregate. *J Endod* 2001, 27: 540-2.
23. Hachmeister DR, Schindler WG, Walker WA, Thomas DD. The sealing ability and retention characteristics of mineral trioxide aggregate in a model of apexification. *J Endod* 28, 2002: 386-90.
24. Kratchman SI. Perforation repair and one-step apexification procedures. *Dent Clin N Am* 2004; 48: 291-307.
25. 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. *J Endod* 1999; 25: 1-5.
26. Villa P, Fernandez R. Apexification of a replanted tooth using mineral trioxide aggregate. *Dent Traumatol* 2005; 21: 306-8.
27. Holland R, Souza V, Nery MJ, Otoboni Filho JA, Bernabe PFE, Dezan Junior E. Reaction of dogs teeth to root canal filling with mineral trioxide aggregate or a glass ionomer sealer. *J Endod* 1999; 25: 728-30.
28. O'Sullivan SM, Hartwell GR. Obturation of retained primary mandibular second molar using mineral trioxide aggregate: a case report. *J Endod* 2001; 27: 703-5.
29. Hsien HC, Heng YA, Lee YL, Lan WH, Lin CP. Repair of perforating internal resorption with mineral trioxide aggregate: a case report. *J Endod* 2003, 29: 538-9.
30. White C, Braynt N. Combined therapy of mineral trioxide aggregate and guided tissue regeneration in the treatment of external root resorption and an associated osseous defect. *J Periodontol* 2002; 73: 1517-21.
31. Cummings GR, Torabinejad M. Mineral trioxide aggregate (MTA) as an isolating barrier for internal bleaching. *J Endod* 1995.;21:228.
32. Kim E, Jou Y. A supernumerary tooth fused to the facial surface of a maxillary permanent central incisor: case report. *J Endod* 2000; 26: 45-9.
33. Mitchell PJC, Pitt Ford TR, Torabinejad M, McDonald F. Osteoblast biocompatibility of mineral trioxide aggregate. *Biomaterials* 1999; 20: 167-73.
34. 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.
35. Dentsply, Tulsa Dental (1998). Material safety data sheet (Gray MTA). Prepared by: Shaffer SE.
36. Dentsply, Tulsa Dental (2002). Material safety data sheet (White MTA). Prepared by: Greenburg J.
37. Dammaschke T, Gerth HU, Zuchner H, Schafer E. Chemical and physical surface and bulk material characterization of white ProRoot MTA and two Portland cements. *Dent Mater* 2005 ;21:731-8.
38. Torabinejad M, Hong CU, McDonald F, Pitt Ford TR. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *J. Endod* 1995; 21: 349-53.

39. Camileri J, Montesin FE, Di Silvio L, Pitt Ford TR. The chemical constitution and biocompatibility of accelerated Portland cement for endodontic use. *Int Endod J* 2005;38: 834-42.
40. Camileri J, Montesin FE, Brady K, Sweeney R, Curtis RV, Pitt Ford TR. The constitution of mineral trioxide aggregate. *Dent Mater* 2005;21:297-303.
41. Estrela C, Bammann LL, Estrela CR, Silva RS, Pecora JD. Antimicrobial and chemical study of MTA, portland cement, calcium hydroxide paste, sealapex and dycal. *Braz Dent J* 2000; 11: 3-9.
42. Torabinejad M, White DJ. Tooth filling material and use. *US Patent Number*, 5, 769, 638: May 1995.
43. Asgary S, Parirokh M, Eghbal M, Brink F. Chemical differences between white and gray mineral trioxide. *J Endod* 2005; 31: 101-3.
44. Duarte MAH, Oliveira Demarchi ACC, Yamashita JC, Kuga MC, Fraga SC. Ph and calcium ion release of 2 root-end filling materials. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2003; 95: 345-7.
45. Holland R, Souza V, Nery MJ, Faraco Junior IM, Bernabe PFE, Otoboni Filho JA, Dezan Junior E. Reaction of rat connective tissue to implanted dentin tubes filled with a white mineral trioxide aggregate. *Braz Dent J* 2002; 13: 23-6.
46. Chang HK, Islam I, Yap AU, Tong YW, Koh ET. Properties of a new root-end filling material. *J Endod* 2005; 31: 665-8.
47. Laghios CD, Benson BW, Gutmann JL, Cutler CW. Comparative radiopacity of tetracalcium phosphate and other root-end filling materials. *Int Endod J* 2000; 33: 311-5.
48. Fischer EJ, Arens DE, Miller CH. Bacterial leakage of mineral trioxide aggregate as compared with zinc-free amalgam, intermediate restorative material and super-EBA as a root-end filling material. *J Endod* 1998; 24: 176-9.
49. Fogel HM, Peikoff MD. Microleakage of root-end filling materials. *J Endod* 2001; 27: 456-8.
50. Sarkar NK, Caicedo R, Ritwik P, Moiseyeva R, Kawashima I. Physicochemical basis of the biologic properties of mineral trioxide aggregate. *J Endod* 2005; 31: 97-100.
51. Holland R, Souza V, Nery MJ, Otoboni Filho JA, Bernabe PFE, Dezan Junior E. Reaction of rat connective tissue to implanted dentin tubes filled with mineral trioxide aggregate or calcium hydroxide. *J Endod* 1999; 25: 161-6.
52. Moretton TR, Brown CE, Legan JJ, Kafrawy AH. Tissue reactions after subcutaneous and intraosseous implantation of mineral trioxide aggregate and ethoxybenzoic acid cement. *Biomed Mater Res* 2000; 52: 528-33.
53. Holland R, Souza V, Nery MJ, Faraco Junior IM, Bernabe PFE, Otoboni Filho JA, Dezan Junior E. Reaction of rat connective tissue to implanted dentin tube filled with mineral trioxide aggregate, portland cement or calcium hydroxide. *Braz Dent J* 2001; 12: 3-8.
54. Torabinejad M, Hong CU, Pitt Ford TR, Kettering JD. Antibacterial effects of some root-end filling materials. *J Endod* 1995; 21: 403-6.
55. Al-Nazhan S, Al-Judai A. Evaluation of antifungal activity of mineral trioxide aggregate. *J Endod* 2003; 29: 826-7.
56. 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.
57. 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.
58. Hernandez EP, Botero TM, Mantellini MG, McDonald NJ, Nor JE. Effect of ProRoot MTA mixed with chlorhexidine on apoptosis and cell cycle of fibroblasts and macrophages in vitro. *Int Endod J* 2005; 38: 137-43.
59. Torabinejad M, Hong CU, Pitt Ford TR, Katterring JD. Cytotoxicity of four root end filling materials. *J Endod* 1995; 21: 489-92.
60. Osorio RM, Hefti A, Vertucci FJ, Shawley AL. Cytotoxicity of endodontic materials. *J Endod* 1998; 24: 91-6.

61. Koh ET, McDonald F, Pitt Ford TR, Torabinejad M. Cellular response to mineral trioxide aggregate. *J Endod* 1998; 24: 543-7.
62. Keiser K, Johnson CC, Tipton DA. Cytotoxicity of mineral trioxide aggregate using human periodontal ligament fibroblasts. *J Endod* 2000; 26: 288-91.
63. Haglund R, He J, Jarvis J, Safavi KE, Spangberg LSW, Zhu Q. Effects of root-end filling materials on fibroblasts and macrophages in vitro. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2003; 95: 739-45.
64. Torabinejad M, Hong CU, Pitt Ford TR, Kariyawasam SP. Tissue reaction to implanted Super EBA and mineral trioxide aggregate in mandibula of guinea pigs: a prilliminary report. *J Endod* 1995; 21: 569-71.
65. Torabinejad M, Pitt Ford TR, Abedi HR, Kariyawasam SP. Tissue reaction to implanted root-end materials in the tibia and mandible of guinea pigs. *J Endod* 1998; 24:468-71.
66. Holland R, Souza V, Nery MJ, Bernabe PFE, Otoboni Filho JA, Dezan Junior E, Murata SS. Calcium salts deposition in rat connective tissue after the implantation of calcium hydroxide-containing sealers. *J Endod* 2002; 28: 173-6
67. Faraco IM, Holland R. Response of the pulp of dogs to capping with mineral trioxide aggregate or a calcium hydroxide cement. *Dent Traumatol* 2001; 17: 163-6.
68. Torabinejad M, Chivian N. Clinical applications of mineral trioxide aggregate. *J Endod* 1999; 25: 197-205.
69. Lee ES. A new mineral trioxide aggregate root-end filling technique. *J Endod* 2000;26: 764-5.
70. Valois CRA, Costa Jr ED. Influence of the thickness of mineral trioxide aggregate on sealing ability of root-end fillings in vitro. *Oral Surg Oral Med Oral Path Oral Radiol Endod* 2004; 97:108-11.
71. Apaydin ES, Shabahang S, Torabinejad M. Hard tissue healing after application of fresh or set MTA as root-end filling material. *J. Endod* 2004; 30: 21-4.
72. White JD, Lacefield WR, Chavers LS, Eleazer PD. The effect of three commonly used endodontic materials on the strength and hardness of root dentin. *J Endod* 2002; 28: 828-30.

Yazışma Adresi:

Yrd. Doç. Dr. Emine ŞEN TUNÇ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Diş Hekimliği Fakültesi

Pedodonti Anabilim Dalı

Kurupelit/SAMSUN

Tel: 0362-312 19 19-3020

e-mail: sentunc@yahoo.com