

APEXIFICATION TREATMENTS IN NONVITAL IMMATURE PERMANENT TEETH: A CASE SERIES WITH CURRENT LITERATURE REVIEW

DEVİTAL GENÇ DAİMÎ DİŞLERDE APEKSİFİKASYON TEDAVİLERİ: GÜNCEL LİTERATÜR EŞLİĞİNDE OLGU SERİSİ

Çağla KURT¹  Asu ÇAKIR¹  Tuğçe Nur ŞAHİN¹ 

¹ Karamanoğlu Mehmetbey University, Faculty of Dentistry, Department of Pediatric Dentistry, Karaman, Türkiye

ABSTRACT

Objective: Endodontic treatment of immature permanent teeth becomes challenging when pulp necrosis develops due to trauma or caries. The aim of this case series was to evaluate the clinical success of apexification using Mineral Trioxide Aggregate (MTA) in nonvital immature permanent teeth with open apices. **Case Reports:** The first case involved a 10-year-old male patient presenting with an apical lesion and sinus tract in tooth #11 following trauma. The second case was a 10-year-old female patient who presented with subluxation in tooth #11 and lateral luxation in tooth #21 after a fall; both teeth were found to be nonvital. In both cases, MTA was used as an apical barrier material. The third case involved a 14-year-old male patient presenting with pain in tooth #37, which exhibited a C-shaped canal configuration. In all cases, a two-visit treatment protocol was performed; MTA was placed as an apical barrier, and the remaining canal space was obturated with a resin-based sealer and gutta-percha. **Results and Discussion:** All patients were asymptomatic at follow-up, and radiographic examinations revealed periapical healing. The literature indicates that MTA has advantages over calcium hydroxide due to its shorter treatment duration, superior biocompatibility, and excellent sealing ability. Consistent with previous studies, successful clinical and radiographic outcomes were achieved in the present cases. However, long-term follow-up studies and comparative research with bioceramic materials are needed to provide stronger evidence.

Keywords: Apexification, Calcium Hydroxide, Endodontic Treatment, Immature Permanent Teeth, Mineral Trioxide Aggregate,

ÖZET

Amaç: Kök gelişimini tamamlamamış genç daimî dişlerde travma veya çürüğe bağlı pulpa nekrozu gelişmesi durumunda endodontik tedavi süreci zorlaşmaktadır. Bu olgu serisinin amacı, açık apeksli devital genç daimî dişlerde Mineral Trioksit Agregat (MTA) kullanılarak gerçekleştirilen apeksifikasyon tedavisinin klinik başarısını değerlendirmektir. **Olgu Sunumları:** İlk olgu, travma sonrası 11 numaralı dişinde apikal lezyon ve fistül yolu gelişen 10 yaşındaki erkek hastadır. İkinci olgu, düşme sonrası 11 numaralı dişinde subluksasyon ve 21 numaralı dişinde lateral lüksasyon gelişen 10 yaşındaki kız hastadır. Her iki dişin de devital hale geldiği belirlenmiş ve apikal tıkama materyali olarak MTA kullanılmıştır. Üçüncü olgu ise ağrı şikayetiyle kliniğimize başvuran 14 yaşındaki erkek hastada 37 numaralı dişte C kanal formasyonu bulunan bir vakadır. Tüm olgularda iki seanslık tedavi protokolü uygulanmış, MTA apikal bariyer olarak yerleştirilmiş, kalan kanal kısmı rezin esaslı pat ve gutta perka ile doldurulmuştur. **Sonuçlar:** Olguların tümünde klinik semptomlar kaybolmuş, radyografik olarak periapikal iyileşme gözlenmiştir. Literatürde MTA'nın kısa tedavi süresi, yüksek biyouyumluluk ve sızdırmazlık özellikleri nedeniyle kalsiyum hidroksite göre üstünlük sağladığı bildirilmektedir. Önceki çalışmalarla uyumlu olarak, mevcut olgularda da başarılı klinik ve radyografik sonuçlar elde edilmiştir. Bununla birlikte, daha güçlü kanıtlar ortaya koyabilmek için uzun dönem takip çalışmaları ve biyoseramik materyallerle yapılacak karşılaştırmalı araştırmalara ihtiyaç vardır.

Anahtar Kelimeler: Apeksifikasyon, Endodontik Tedavi, Genç Daimî Diş, Kalsiyum Hidroksit, Mineral Trioksit Agregat

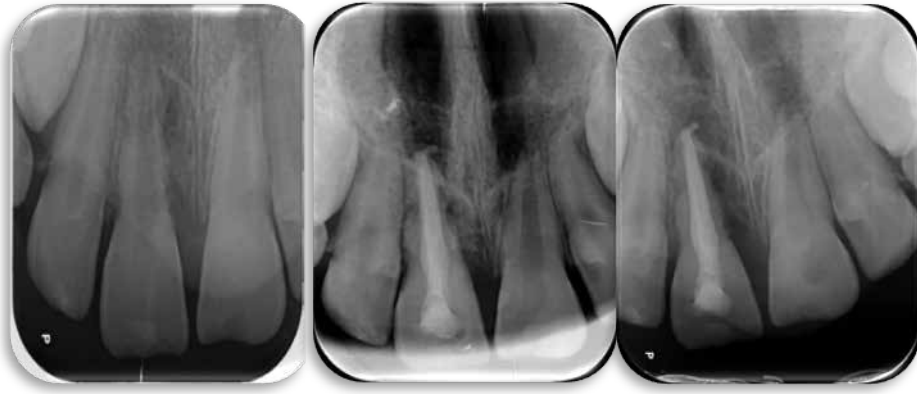
GİRİŞ

Kök gelişimini çeşitli sebeplerle tamamlayamamış ve kök ucu açık olarak görülen dişler genç daimî dişler olarak adlandırılmaktadır¹. Bu dişlerde travma veya çürükten kaynaklı pulpa nekrozu meydana gelmekte ve kök gelişimini tamamlayamamaktadır². Devital olan genç daimî dişlerde de kök ucunun açık olması geleneksel endodontik tedaviyi zorlaştırmaktadır. Çürük veya travma sebebiyle devital olan bu dişlerde en uygun tedavi kök ucunun tıkanmasını sağlamak olan apeksifikasyon tedavisidir. Apeksifikasyon tedavisinde kullanılan maddelerden biri kalsiyum hidroksit iken diğeri MTA'dır. Günümüzde yapılan çalışmalar sonucu kalsiyum hidroksitin bazik karakteri sebebiyle epitelial kök kınına zarar vermesi, farklılaşmamış hücrelerin odontoblastlara dönmesini engellediği ve uzun dönemli uygulama sonucu dişin kırılabilirliğini arttırdığı gözlenmiştir^{3,4,5}. Bu sebeple alternatif olarak dentinin mekanik özelliğini çok değiştirmeyen, tedavi süresini kısaltan, biyouyumlu, sızdırmaz madde olan MTA tercih edilmektedir⁶.

OLGU SUNUMU

Birinci olgu

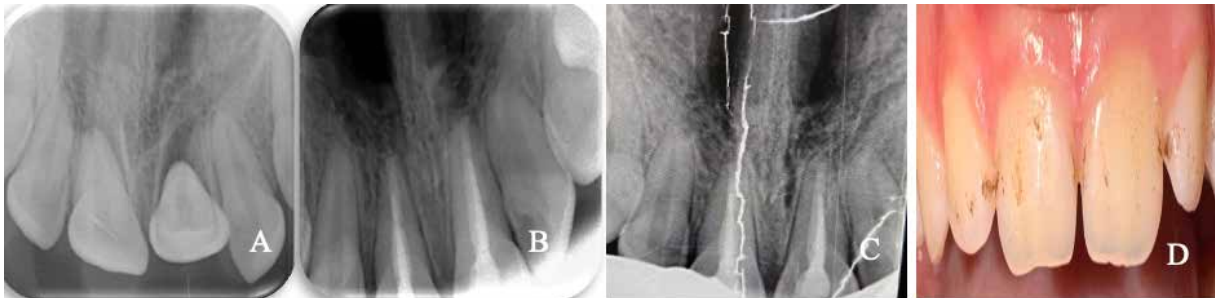
10 yaşındaki erkek hasta, üst dudağında şişlik şikayetiyle kliniğimize başvurdu. Alınan anamnezde hastanın yaklaşık 1 yıl önce travma öyküsü olduğu öğrenildi. Yapılan klinik muayenede 11 numaralı dişin palpasyon ve perküsyona duyarlı olduğu, dişte 1. derece mobilite bulunduğu ve diş eti seviyesinde fistül yolu oluşumu gözlemlendi. Radyografik incelemede 11 numaralı dişin apikal bölgesinde radyolüsent lezyon varlığı ve eksternal rezorpsiyon izlendi (Şekil 1A). Dişe apeksifikasyon tedavisi uygulanmasına karar verildi. Rubber dam izolasyonu altında apeksifikasyon tedavisi, literatürle uyumlu olarak iki seanslı protokol şeklinde planlanmış ve uygulanmıştır. İlk seansta kanal şekillendirmesi sonrası %5,25 sodyum hipoklorit (NaOCl) ve serum fizyolojik ile irrigasyon yapıldı. Irrigasyon sırasında açık apeksli dişlerde irrigantın apikal dokulara taşmasını önlemek amacıyla irrigasyon iğnesi çalışma boyundan yaklaşık 1–2 mm kısa konumlandırıldı ve irrigasyon düşük basınç altında kontrollü olarak gerçekleştirildi. %5,25 NaOCl, yüksek antimikrobiyal etkinliği ve organik doku çözme kapasitesi nedeniyle tercih edildi. Ardından kanallar steril kâğıt konlar ile kurutuldu ve intrakanal medikament olarak kalsiyum hidroksit uygulanarak 1 hafta süreyle bekletildi. İkinci seansta apikal bariyer olarak MTA (Biofactor, Imicryl, Türkiye) kullanıldı ve kanalın geri kalan kısmı rezin esaslı kanal patı (AH Plus Dentsply, Germany) ve gutta perka ile dolduruldu (Şekil 1B). Takiplerde hastanın asemptomatik olduğu, fistül yolu oluşumunun ortadan kalktığı, perküsyon ve palpasyon hassasiyetinin bulunmadığı gözlemlendi. Radyografik incelemede periapikal lezyonda iyileşme ve boyutunda azalma izlendi. Takip sürecinde eksternal rezorpsiyonun progresyon gösterdiği gözlemlendi (Şekil 1C).



Şekil 1. Olgu 1'e Ait Radyografiler. (A) Tedavi Öncesi Radyografi. (B) Apeksifikasyon Tedavisi Sonrası Radyografi. (C) Üç Aylık Kontrol Radyografisi.

İkinci olgu

10 yaşındaki kız hasta, düşme sonrası yaklaşık 1 saat içinde kliniğimize başvurdu. Yapılan muayene sonucunda 11 numaralı dişte sublüksasyon, 21 numaralı dişte ise lateral lüksasyon gözlemlendi (Şekil 2A). Dişler alveol soketindeki eski konumlarına lokal anestezi altında repoze edilerek aynı seansta hastaya esnek splint uygulandı. Lateral lüksasyon nedeniyle dişlere 4 hafta süreyle esnek splint uygulandı. Dört ay sonraki kontrol randevusunda yapılan vitalite testi sonucunda dişlerin devital olduğu gözlemlendi ve apeksifikasyon tedavisi planlandı. Apeksifikasyon tedavisi, literatürle uyumlu olarak iki seanslı protokol şeklinde planlandı ve uygulandı. İlk seansta kanal şekillendirmesi sonrası %5,25 sodyum hipoklorit (NaOCl) ve serum fizyolojik ile irrigasyon sağlandı, ardından intrakanal medikament olarak kalsiyum hidroksit uygulanarak 1 hafta süreyle bekletildi. İkinci seansta ise apikal bariyer olarak MTA (Biofactor, Imicryl, Türkiye) yerleştirildi ve kanalın geri kalan kısmı rezin esaslı kanal patı (AH Plus, Dentsply, Germany) ve gutta perka ile dolduruldu. 3.ay kontrolünde dişlerin asemptomatik olduğu, mobilitenin normale döndüğü ve perküsyon hassasiyetinin bulunmadığı gözlemlendi (Şekil 2B). Hasta herhangi bir şikâyeti olmaması sebebiyle takip randevularına katılmamıştır. 2,5 yıl sonra kliniğe başka bir dişinin tedavisi için başvurduğunda ise ilgili diştan alınan periapikal radyografide periapikal dokularda iyileşme olduğu gözlenirken patolojik bir bulguya rastlanmadı (Şekil 2C). Dişte herhangi bir renk değişikliği veya rezorpsiyon bulgusu görülmedi (Şekil 2D).



Şekil 2. Olgu 2'ye Ait Klinik ve Radyografik Görüntüler. (A) Travma günü alınan başlangıç radyografisi. (B) Üç aylık kontrol radyografisi. (C) İki buçuk yıllık kontrol radyografisi. (D) İki buçuk yıllık kontrolde ağız içi klinik görünüm.

Üçüncü olgu

14 yaşındaki erkek hasta, 37 numaralı dişinde spontan ağrı ve çürük şikayetiyle kliniğimize başvurdu. Yapılan klinik ve radyografik muayene sonucunda devital olduğu tespit edilen dişe apeksifikasyon tedavisi planlandı. Tedavi sırasında distal kanalların birleşik C kanal formunda olduğu tespit edildi (Şekil 3A). Rubber dam izolasyonu altında apeksifikasyon tedavisi, literatürle uyumlu olarak iki seanslı protokol şeklinde planlandı ve uygulandı. İlk seansta kanal şekillendirmesi sonrası %5,25 sodyum hipoklorit (NaOCl) ve serum fizyolojik ile irrigasyon sağlandı, ardından intrakanal medikament olarak kalsiyum hidroksit uygulanarak 1 hafta süreyle bekletildi. İkinci seansta distal bölgede bulunan C kanal formasyonu MTA (Biofactor, Imicryl, Türkiye) ile dolduruldu, mezial kanallar ise rezin esaslı kanal patı (AH Plus, Dentsply, Germany) ve gutta perka ile dolduruldu (Şekil 3B). Üç aylık takipte hastanın asemptomatik olduğu, klinik bulgularının normal olduğu ve herhangi bir şikayetin bulunmadığı ifade edildi. Radyografik incelemede periapikal iyileşme izlendi. Herhangi bir rezorpsiyon veya patolojik bulguya rastlanmadı (Şekil 3C) Bununla birlikte, hastanın uzak bir bölgede ikamet etmesi nedeniyle ileri dönem kontrol randevularına katılamayacağı belirtildi.



Şekil 3. Olgu 3'e ait radyografiler. (A) Tedavi öncesi radyografi. (B) Apeksifikasyon tedavisi sonrası radyografi (C) Üç aylık kontrol radyografisi.

TARTIŞMA

Genç daimî dişlerde kök gelişiminin çeşitli nedenlerle tamamlanamaması durumunda, devital pulpa varlığında tedavi seçeneği olarak apeksifikasyon önerilmektedir. Bu tedavide amaç, kök ucunda apikal bir bariyer oluşturarak kanal dolgusunun sızdırmaz biçimde sonlandırılmasını sağlamaktır. Geçmişte uzun süreli kalsiyum hidroksit kullanımı bu amaçla tercih edilirken, son yıllarda MTA gibi

biyoyumlu materyallerin üstün özellikleri nedeniyle daha yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır
7-9.

Uzun dönemli kalsiyum hidroksit uygulamasının dentin dokusunun mekanik özelliklerini olumsuz etkileyerek kök kırığı riskini artırabileceği bildirilmiştir ^{10,11}. Roberts ve ark. (2008), MTA'nın biyoyumlu yapısı, üstün sızdırmazlık özelliği ve sert doku oluşumunu destekleyen biyolojik özellikleri nedeniyle apeksifikasyon da dahil olmak üzere çeşitli endodontik uygulamalarda yaygın olarak kullanılan bir materyal olduğunu bildirmiştir ¹². Ayrıca, MTA'nın sementogenez ve kemik iyileşmesini uyarmada indükleyici etki gösterdiği çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur ¹³. MTA'nın klinik başarısı; biyoyumluluğu, sızdırmazlık kapasitesi, yüksek pH değeri ve kalsiyum iyon salınımı ile ilişkilendirilmektedir. Kalsiyum silikat esaslı materyallerin hidroksil ve kalsiyum iyonu salınımı ile alkalen ortam oluşturduğu, bunun da antibakteriyel etkiye ve yüzeyde hidroksiapatit birikimine katkı sağlayabileceği bildirilmiştir. Bu özellikler, MTA'nın apikal bariyer oluşumu ve periapikal iyileşmedeki başarısını açıklayabilir ¹⁴. Mevcut olgularımızda da tedavi sonrası klinik semptomların ortadan kalktığı ve radyografik iyileşmenin izlendiği göz önüne alındığında, elde edilen sonuçlar bu bulgularla paralellik göstermektedir. Guerrero ve ark. tarafından gerçekleştirilen sistematik derlemede hem kalsiyum hidroksit hem de MTA ile yapılan apeksifikasyon tedavilerinde yüksek klinik başarı oranları bildirildiği, MTA'nın ise daha kısa tedavi süresi nedeniyle önemli klinik avantajlar sunduğu belirtilmiştir ¹⁵. Bu sonuç, çalışmamızdaki bulgularla benzerlik göstermektedir. Chala ve ark. tarafından gerçekleştirilen sistematik derlemede hem kalsiyum hidroksit hem de MTA ile başarılı apeksifikasyon sonuçları elde edilebildiği, ancak MTA'nın daha kısa tedavi süresi ve daha az klinik seans gerektirmesi nedeniyle önemli klinik avantajlar sunduğu bildirilmiştir ¹⁶.

Gupta ve ark. (2024) tarafından gerçekleştirilen sistematik derleme ve meta-analizde, MTA, kalsiyum hidroksit ve rejeneratif endodontik tedavi yöntemlerinin apeksifikasyonda başarılı sonuçlar verdiği, MTA ve rejeneratif endodontik tedavinin apikal kapanmanın sağlanmasında etkili ve öngörülebilir tedavi seçenekleri olduğu bildirilmiştir ¹⁷. Bununla birlikte, sistematik derlemeler MTA'nın apikal bariyer oluşturma süresinin $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'ye kıyasla daha kısa olduğunu ve benzer veya daha düşük komplikasyon oranları ile ilişkili olabileceğini göstermektedir ¹⁸. Lin ve ark. tarafından gerçekleştirilen sistematik derleme ve meta-analizde, MTA ve $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile yapılan apeksifikasyon tedavilerinin klinik başarı oranlarının benzer olduğu, ancak MTA kullanımının apikal bariyer oluşum süresini anlamlı derecede kısalttığı bildirilmiştir. Bu nedenle MTA'nın tedavi süresini azaltması ve hasta uyumunu artırması açısından avantajlı olduğu vurgulanmıştır ¹⁹. Asgary ve ark. tarafından yapılan güncel derlemede, MTA ile apeksifikasyonun $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'ye kıyasla daha hızlı apikal bariyer oluşumu sağladığı, buna karşın genel klinik başarı oranlarının benzer olduğu bildirilmiştir. Yazarlar, tedavi süresini kısaltması nedeniyle MTA'nın günümüzde tercih edilen materyal haline geldiğini belirtmiştir ²⁰.

Wikström ve ark. (2024) tarafından gerçekleştirilen 20 yıllık uzun dönemli bir çalışmada, MTA ile tedavi edilen devital genç daimî dişlerde ortalama sağkalım süresinin kalsiyum hidroksit grubuna kıyasla daha yüksek olduğu bildirilmiştir ²¹. Bu bulgular, MTA'nın uzun dönem klinik başarı açısından avantaj sağlayabileceğini düşündürmektedir. Bu durum, olgularımızda uygulanan iki seanslık protokolün literatürle uyumlu olduğunu göstermektedir.

Akleyin ve Polat (2022) tarafından yapılan retrospektif bir çalışmada, 12 aylık takip sonunda apikal kapanma oranı Ca(OH)₂ grubunda %89,35, MTA grubunda ise %92,73 olarak bulunmuştur ²². Yeni biyoseramik materyallerin gelişmesiyle birlikte, MTA'ya alternatif olarak TotalFill BC Putty gibi materyallerin de kullanılabilirliği araştırılmıştır. Kasperek ve ark. (2025), TotalFill BC Putty ve MTA ile yapılan apeksifikasyon tedavilerinde benzer başarı oranları bildirmiştir ²³. Bu bulgu, mevcut olgularımızda MTA kullanımının güncel literatürle uyumlu olduğunu desteklemektedir. Mevcut olgularımızda da MTA kullanımı sonrası radyografik iyileşme ve klinik bulgular bu yüksek başarı oranlarını destekler niteliktedir.

Abdellatif ve ark. (2024), açık apeksli dişlerde irrigasyonun etkinliğinin yalnızca irrigantın kimyasal özelliklerine değil, aynı zamanda uygulama tekniğine de bağlı olduğunu bildirmiştir. Yazarlar, %5,25 NaOCl'nin güçlü antimikrobiyal etkisi ve organik doku çözme kapasitesi nedeniyle etkin bir irrigasyon solüsyonu olduğunu, ancak açık apeksli dişlerde irrigant ekstrüzyonu riskini azaltmak amacıyla kontrollü irrigasyon tekniklerinin uygulanması gerektiğini vurgulamıştır ²⁴. Benzer şekilde Pai (2023), NaOCl kazalarının en önemli nedenlerinin irrigasyon iğnesinin çalışma boyunu aşması, yüksek basınçla irrigasyon yapılması ve açık apeks varlığı olduğunu belirtmiş; irrigasyonun düşük basınç altında ve çalışma boyundan kısa konumlandırılan iğnelerle gerçekleştirilmesini önermiştir ²⁵. Maneea ve ark. (2024) tarafından yapılan sistematik derlemede ise farklı NaOCl konsantrasyonlarının mikrobiyolojik etkinlikleri karşılaştırılmış ve yüksek konsantrasyonların daha güçlü antimikrobiyal etki ve organik doku çözme kapasitesi sağladığı, ancak güvenli irrigasyon protokolünün uygulanmasının konsantrasyondan bağımsız olarak büyük önem taşıdığı bildirilmiştir ²⁶. Ayrıca Al Nesser ve Bshara (2019), açık apeksli dişlerde irrigant ekstrüzyon riskinin arttığını göstermiş ve özellikle immatür daimî dişlerde irrigasyon tekniğinin tedavinin güvenliği açısından kritik olduğunu ifade etmiştir ²⁷. Sunulan olgularda da irrigasyon amacıyla %5,25 NaOCl tercih edilmiş olup, bu seçim yüksek antimikrobiyal etkinliği ve organik doku çözme kapasitesi göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Tedavi sırasında irrigasyon kontrollü şekilde gerçekleştirilmiş ve takiplerde NaOCl ekstrüzyonuna bağlı herhangi bir komplikasyon gözlenmemiştir. Bu bulgular, uygun irrigasyon tekniği uygulandığında %5,25 NaOCl'nin açık apeksli genç daimî dişlerde güvenle kullanılabileceğini bildiren güncel literatür ile uyumludur.

Her ne kadar MTA'nın avantajları belirgin olsa da materyalin klinik uygulamasında dikkat edilmesi gereken bazı noktalar bulunmaktadır. MTA'nın manipülasyon zorluğu, apikal bölgeye eks-

trüzyon riski ve sertleşme süresinin uzun olması olası dezavantajlardandır ¹⁴.

Güncel literatürde rejeneratif endodontik tedavi (RET), nekrotik genç daimî dişlerde MTA apeksifikasyonuna alternatif bir tedavi seçeneği olarak değerlendirilmektedir. Tewari ve ark. tarafından yayımlanan güncel umbrella derlemede, RET ile apeksifikasyonun klinik ve radyografik başarı oranlarının benzer olduğu, ancak RET'nin kök gelişimini destekleme potansiyeli nedeniyle kök uzunluğu ve kök duvar kalınlığında daha fazla artış sağlayabileceği bildirilmiştir ²⁸. Bu nedenle, özellikle kök gelişiminin devamının hedeflendiği immatür daimî dişlerde RET'nin önemli bir tedavi alternatifi olduğu vurgulanmaktadır.

SONUÇ

Sunulan olgular, MTA'nın genç daimî dişlerde devital kök ucu açık vakalarda başarılı bir apeksifikasyon materyali olduğunu göstermektedir. MTA, kısa tedavi süresi, yüksek biyouyumluluğu ve sızdırmazlık özelliğiyle kalsiyum hidroksite göre üstünlük sağlamaktadır. Ancak, uzun dönem takip çalışmaları ve biyoseramik materyallerle karşılaştırmalı klinik araştırmalar, bu konuda daha güçlü kanıtlar elde edilmesine katkı sağlayacaktır.

Teşekkür:

Bu çalışma, 30. Türk Pedodonti Derneği Kongresi'nde (Poster Sunumu, 2025) sunulmuştur.

Finansal Destek:

Bu çalışma için herhangi bir finansal destek alınmamıştır.

Çıkar Çatışması:

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Etik Beyan:

Bu çalışma için etik kurul onayı gerekmemektedir; ancak hastalardan/velilerinden bilgilendirilmiş onam alınmıştır.

KAYNAKLAR

1. Pinkham JR, Casamassimo PS, Fields HW Jr, McTigue DJ, Nowak AJ. *Çocuk Diş Hekimliği: Bebeklikten Ergenliğe*. 4th ed. Atlas Kitapçılık; 2009.

2. Cvek M. Prognosis of luxated non-vital maxillary incisors treated with calcium hydroxide and filled with gutta-percha. A retrospective clinical study. *Endod Dent Traumatol.* 1992;8(2):45-55. doi:10.1111/j.1600-9657.1992.tb00228.x
3. El Karim I, Kennedy J, Hussey D. The antimicrobial effects of root canal irrigation and medication. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics.* 2007;103:560-569. doi:10.1016/j.tripleo.2006.10.004
4. Odabaş DDME. PULP REVASCULARIZATION OF AN IMMATURE TOOTH WITH APICAL PERIODONTITIS: A CASE REPORT. *Ata Diş Hek Fak Derg.* 2011;2011(3):236-240.
5. 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):134-137. doi:10.1034/j.1600-9657.2002.00097.x
6. Simon S, Rilliard F, Berdal A, Machtou P. The use of mineral trioxide aggregate in one-visit apexification treatment: a prospective study. *Int Endod J.* 2007;40(3):186-197. doi:10.1111/j.1365-2591.2007.01214.x
7. Mohammadi Z, Dummer PMH. Properties and applications of calcium hydroxide in endodontics and dental traumatology. *Int Endod J.* 2011;44(8):697-730. doi:10.1111/j.1365-2591.2011.01886.x
8. Andreasen J, FM A, LK B, Flores M, Andersson L. *Traumatic Dental Injuries. A Manual.* Vol 9. 2011. doi:10.1002/9780470698822
9. Torabinejad M, Chivian N. Clinical applications of mineral trioxide aggregate. *J Endod.* 1999;25(3):197-205. doi:10.1016/S0099-2399(99)80142-3
10. Rafter M. Apexification: a review. *Dent Traumatol.* 2005;21(1):1-8. doi:10.1111/j.1600-9657.2004.00284.x
11. Andreasen JO, Munksgaard EC, Bakland LK. Comparison of fracture resistance in root canals of immature sheep teeth after filling with calcium hydroxide or MTA. *Dent Traumatol.* 2006;22(3):154-156. doi:10.1111/j.1600-9657.2006.00419.x
12. Roberts HW, Toth JM, Berzins DW, Charlton DG. Mineral trioxide aggregate material use in endodontic treatment: a review of the literature. *Dent Mater.* 2008;24(2):149-164. doi:10.1016/j.dental.2007.04.007

13. Wang X, Xiao Y, Song W, et al. Clinical application of calcium silicate-based bioceramics in endodontics. *J Transl Med*. 2023;21(1):853. doi:10.1186/s12967-023-04550-4.
14. 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):400-413. doi:10.1016/j.joen.2009.09.009.
15. Guerrero F, Mendoza A, Ribas D, Aspiazu K. Apexification: A systematic review. *J Conserv Dent*. 2018;21(5):462-465. doi:10.4103/JCD.JCD_96_18
16. Chala S, Abouqal R, Rida S. Apexification of immature teeth with calcium hydroxide or mineral trioxide aggregate: systematic review and meta-analysis. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 2011;112(4):e36-e42. doi:10.1016/j.tripleo.2011.03.047
17. Gupta D, Shaw A, Mali S, Jadhav A. Comparison between Calcium Hydroxide with Mineral Trioxide Aggregate and Regenerative Endodontics in Inducing Root Apex Closure during Apexification – A Systematic Review and Meta-analysis. *Indian Journal of Dental Research*. 2024;35:88-94. doi:10.4103/ijdr.ijdr_885_23
18. Shaik I, Dasari B, Kolichala R, et al. Comparison of the Success Rate of Mineral Trioxide Aggregate, Endosequence Bioceramic Root Repair Material, and Calcium Hydroxide for Apexification of Immature Permanent Teeth: Systematic Review and Meta-Analysis. *J Pharm Bioallied Sci*. 2021;13(Suppl 1):S43-S47. doi:10.4103/jpbs.JPBS_810_20
19. Lin JC, Lu JX, Zeng Q, Zhao W, Li WQ, Ling JQ. Comparison of mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide for apexification of immature permanent teeth: A systematic review and meta-analysis. *J Formos Med Assoc*. 2016;115(7):523-530. doi:10.1016/j.jfma.2016.01.010
20. Asgary S, Shamszadeh S, Nosrat A, Aminoshariae A, Sabeti M. Management Strategies for Immature Teeth with Pulp Necrosis: An Umbrella Review of Systematic Reviews. *Iran Endod J*. 2024;19(4):242-253. doi:10.22037/iej.v19i4.46292
21. Wikström A, Brundin M, Mohmud A, Anderson M, Tsilingaridis G. Outcomes of apexification in immature traumatised necrotic teeth and risk factors for premature tooth loss: A 20-year longitudinal study. *Dent Traumatol*. 2024;40(6):658-671. doi:10.1111/edt.12973
22. Akleyin E, Polat Yavuz Y, Harman E, Çelenk S. Evaluating the radiographic results of apexification tre-

atment in children. *International Dental Research*. 2022;12:158-164. doi:10.5577/intdentres.2022.vol12.no3.8

23. Kasperek D, Beattie S, Longridge N, Jarad F, Albadri S. The outcomes of calcium silicate cement putty apical plugs in traumatised permanent maxillary teeth in paediatric patients: a retrospective evaluation. *BDJ OPEN*. 2025;11(1):39. doi:10.1038/s41405-025-00317-9
24. Abdellatif D, Pisano M, Cecere L, et al. Activation of Irrigants in Root Canals with Open Apices: A Narrative Review. *J Clin Med*. 2024;13(21):6611. doi:10.3390/jcm13216611
25. Vivekananda Pai AR. Factors influencing the occurrence and progress of sodium hypochlorite accident: A narrative and update review. *J Conserv Dent*. 2023;26(1):3-11. doi:10.4103/jcd.jcd_422_22.
26. Nesser SFA, Bshara NG. Evaluation of the apical extrusion of sodium hypochlorite gel in immature permanent teeth: An in vitro study. *Dent Med Probl*. 2019;56(2):149-153. doi:10.17219/dmp/103911.
27. Maneea A, Alqahtani A, Alhazaa A, Albalawi A, Alotaibi A, Alanazi T. Systematic Review of the Microbiological Impact of Sodium Hypochlorite Concentrations in Endodontic Treatment. *International Journal of Dental Research and Allied Sciences*. 2024;4:9-15. doi:10.51847/PH80PpWOX7.
28. Tewari N, Devi P, Sampath S, et al. Comparative Effectiveness of Regenerative Endodontic Treatment Versus Apexification for Necrotic Immature Permanent Teeth With or Without Apical Periodontitis: An Umbrella Review. *Dent Traumatol*. 2025;41(3):263-282. doi:10.1111/edt.13028.