

ENDODONTİ

Alanında Uluslararası Çalışmalar

EDİTÖR

DOÇ. DR. HASAN GÜNDOĞAR

Horizon 2025

Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • Eda Altunel

Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Serüven Yayınevi

Birinci Basım / First Edition • © Haziran 2025

ISBN • 978-625-5897-34-3

© copyright

Bu kitabın yayın hakkı Serüven Yayınevi'ne aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz. The right to publish this book belongs to Serüven Publishing. Citation can not be shown without the source, reproduced in any way without permission.

Serüven Yayınevi / Serüven Publishing

Türkiye Adres / Turkey Address: Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak

Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA

Telefon / Phone: 05437675765

web: www.seruenyayinevi.com

e-mail: seruenyayinevi@gmail.com

Baskı & Cilt / Printing & Volume

Sertifika / Certificate No: 42488

ENDODONTİ

ALANINDA ULUSLARARASI ÇALIŞMALAR

EDİTÖR

DOÇ. DR. HASAN GÜNDOĞAR

İÇİNDEKİLER

Bölüm 1

ENDODONTİK REİMLANTASYON TANIMI VE UYGULAMA YÖNTEMLERİ

Ecem KARAKOYUNLU —1

Bölüm 2

KALSİYUM SİLİKAT ESASLI BİYOMATERYALLERİN ENDODONTİDEKİ KULLANIM ALANLARI VE ÖZELLİKLERİ

Tolgahan GÜRMEN, Bülent YILMAZ —15

Bölüm 3

ENDODONTİDE KÖK KANAL DOLGU MATERYALLERİ VE OBTURASYON YÖNTEMLERİ

Ecem KARAKOYUNLU —43

Bölüm 4

ENDODONTİDE KIRIK ALETLERİN UZAKLAŞTIRILMASI

Züleyha BAŞ, Hüseyin GÜNDÜZ —59

Bölüm 1

ENDODONTİK REİMLANTASYON TANIMI VE UYGULAMA YÖNTEMLERİ

Ecem KARAKOYUNLU¹

¹ 1 Arş. Gör. Dt, Çukurova Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim dalı, Adana, Türkiye. ORCID 0009-0006-4654-8831

Kasıtlı reimplantasyon, bir dişin bilinçli olarak çekilmesi, ardından kök yüzeylerinin değerlendirilmesi, endodontik işlemlerin ve tamirlerin gerçekleştirilmesi ve sonrasında dişin orijinal alveolüne yeniden yerleştirilmesi olarak tanımlanır (1). Bu yöntem, endodontik kökenli hastalıkların tedavisinde bilinen en eski yöntemlerden biridir ve 11. yüzyılda Albulcasis'in bir reimplantasyon vakasını tanımladığı dönemlere kadar uzanır (2). 16. ila 18. yüzyıllar arasında, kök rezeksiyonu ve kök ucu dolgusu gibi işlemlerin diş yeniden yerleştirilmeden önce uygulanması dahil olmak üzere birçok reimplantasyon vakası bildirilmiştir (3). Günümüzde ise bu prosedür, dişin çekimi, kök ucu rezeksiyonu ve preparasyonu, cerrahi manipülasyon sırasında dişin taşınması ve kök ucu dolgusunda kullanılan materyaller gibi birçok tekniğin modifikasyonunu içerecek şekilde evrim geçirmiştir. Bu işlem artık, başarılı sonuç elde edilebilmesi için titizlikle uygulanması gereken çok sayıda cerrahi basamaktan oluşmaktadır. İlk olarak, seçilen diş dikkatli bir şekilde çekilir; çekim sırasında kırık oluşması, dişin restoratif olarak kurtarılamaz hale gelmesine yol açabileceğinden ve periodontal ligament (PDL) dokusuna zarar verilmesinin de önlenmesi gerektiğinden, son derece özenli olunmalıdır. PDL hücrelerinin canlı kalması, başarılı iyileşmeyi etkileyen kritik bir faktör olarak kabul edilmektedir (4). Bu nedenle, çeşitli yazarlar tarafından, PDL hücrelerine travmayı en aza indirmek amacıyla dental elevatör kullanımından kaçınılması ve diş forsepslerinin yalnızca dişin kron kısmına uygulanması önerilmiştir (5–8). Bu aşama, bazı yazarlar tarafından işlemin en fazla tekniğe bağlı başarı gösteren kısmı olarak tanımlanmıştır (8). Diş çekildikten sonra, köklerdeki kırıklar, ek kanal yapıları, ekstra çıkış yolları, isthmuslar ve dikkat gerektiren diğer anatomik yapılar açısından dikkatle incelenmesi gerekmektedir (9). Kök muayenesi en iyi şekilde dental operasyon mikroskobu yardımıyla yapılabilmektedir. Köklerin değerlendirilmesi, incelenen alanların uygun şekilde büyütülmesi ve aydınlatılması amacıyla dental operasyon mikroskobu (DOM) kullanılarak en iyi şekilde gerçekleştirilir. (8) Köklerin incelenmesini takiben, kök rezeksiyonları yüksek devirli aeratör ile gerçekleştirilir; ideal olarak en az 3 mm'lik bir rezeksiyon önerilir, çünkü bu seviyede yapılan rezeksiyonun apikal dallanmaların %98'ini ve lateral kanalların %93'ünü elimine ettiği gösterilmiştir (10). Diş çekimi sırasında kök uçlarına yapışık olarak kalan granülomatöz doku varsa, bu doku dikkatlice kürete edilerek uzaklaştırılır veya rezeksiyon esnasında temizlenir.

Daha sonra kök kanalları, kök ucu dolgusuna uygun hale getirilmek üzere yüksek devirli aeratör ya da ultrasonik enstrümanlar ile hazırlanır. İdeal kök ucu preparasyonu, en az 3 mm derinliğinde, paralel duvarlara sahip, sınıf I kavite olarak tanımlanmakta ve kök kanalının doğal anatomik formuna uygun şekilde oluşturulmalıdır (11). Bu hedeflere ulaşmak

için en uygun yöntemin, yüksek devirli cerrahi frezler yerine ultrasonik enstrümantasyon olduğu düşünülmektedir (8). Bununla birlikte, ultrasonik enstrüman kullanımı sırasında, kök ucunun desteklenmeyen bölgelerinde çatlak oluşumu riski bulunduğu bildirilmiş olup, aşırı kuvvetten kaçınılarak dikkatli uygulanması gerektiği vurgulanmaktadır (12). Kök ucu dolgusu bu aşamada kaviteye yerleştirilir ve kondanase edilir. Tarihsel olarak amalgam, kök ucu dolgusu için tercih edilen materyal olmuştur; ancak günümüzde Super etoksi-benzoik asit (SuperEBA), mineral trioksit agregat (MTA) ve kalsiyum silikat esaslı simanlar, kök kanal sistemini daha etkin şekilde mühürlemeleri ve biyouyumluluklarının daha yüksek olması nedeniyle tercih edilmektedir (13). Ayrıca, bu kalsiyum silikat bazlı materyallerin, dentin yüzeyinde apatit kristali çökelterek biyolojik aktivite gösterdiği de bildirilmiştir (14, 15). Bu avantajlı özellikleri nedeniyle amalgam, artık kök ucu dolgu materyali olarak önerilmemektedir.

Kök ucu dolgusu tamamlandıktan sonra, diş orijinal alveolüne yeniden yerleştirilmek üzere hazır hale gelir. Yeniden yerleştirme öncesinde, sokette kalan granülomatöz doku veya kistik artıklar varsa, bunlar küretajla uzaklaştırılabilir. Ancak bu uygulama, literatürde tartışmalı bir konudur. Bazı araştırmacılar, alveolün en apikal kısmının kürete edilmesini savunurken, alveol duvarlarına temas edilmemesini önermektedir (16, 17). Diğer bazı yazarlar ise hiç küretaj yapılmamasını, bunun yerine cerrahi aspirasyon cihazları ile sadece kan pıhtısının uzaklaştırılmasını, bu sırada alveol duvarlarına temas edilmemesini önermektedir (6, 8, 9). Yöntem ne olursa olsun, temel hedef, alveolde kalan PDL hücrelerinin uzaklaştırılmasından veya travmatize edilmesinden kaçınılmasıdır, zira bu hücreler iyileşme sürecinde önemli rol oynamaktadır.

Alveol, diş yeniden kabul edebilecek şekilde hazırlandıktan ve herhangi bir engel kalmadıktan sonra, diş parmak basıncıyla yönde yavaşça sokete yerleştirilir. Direnç hissedildiği takdirde, bazı durumlarda hastanın ısırma kuvvetinden yararlanılarak dişin alveole daha iyi oturtulması önerilmiştir (18,19). Diş tamamen yerleştirildikten sonra, alveol duvarlarına parmak basıncı uygulanarak sıkıştırma yapılması önerilir (1, 9, 20). Bu uygulama, diş kökü ile alveol duvarı arasında daha sıkı temas sağlanmasına yardımcı olur. Ardından, dişin stabilitesi değerlendirilir ve splint uygulanıp uygulanmayacağına karar verilir. Ancak, splint uygulaması da tartışmalı bir konudur. Bazı araştırmacılar, reimplante edilen dişlerin 7–10 gün ile 3–4 hafta arasında splintlenmesini önerirken (1,9), diğerleri, yalnızca ileri düzeyde mobilite mevcutsa splint uygulanmasını önermektedir (16, 21). Ayrıca, bazı yazarlar tarafından dişte oklüzal redüksiyon yapılması savunulurken (5, 16), diğerleri tarafından ise bu uygulamadan kaçınılması gerektiği belirtilmiştir (18). Bu son adım ile işlem tamamlanır ve hasta belirli aralıklarla postoperatif kontroller için değerlendirilir.

Kasıtlı reimplantasyon için bildirilen ve önerilen teknikler belirgin bir heterojenlik göstermektedir. Diş çekimi sırasında sement yüzeyine temas edilmemesi ve endodontik manipülasyon sırasında kök yüzeyinin serum fizyolojik ile nemli tutulması gibi bazı prosedür adımlarında süreklilik göze çarparken; preoperatif antibiyotik kullanımı, operatör sayısı, alveol küretajı, kök rezeksiyon yöntemi, kök ucu preparasyon tekniği, kök ucu dolgu materyali, ekstraoral süre ve splint uygulaması gibi birçok aşamada büyük farklılıklar mevcuttur.

Preoperatif Antibiyotik Kullanımı

İstemli reimplantasyon işlemi öncesinde antibiyotik kullanımı, yalnızca az sayıda yazar tarafından önerilmiştir. Bu yazarların çoğu, antibiyotiği ya hiç önermemiş ya da sadece subakut bakteriyel endokardit veya protez eklem enfeksiyonu riski olan hastalarda gerekli gördüklerini bildirmiştir. Prosedürel başarıyı artırmak için antibiyotik kullanımını savunanlar arasında ise antibiyotik başlama zamanı ve ilaç seçimi değişiklik göstermektedir. Nosonowitz (5), antibiyotiğe operasyondan bir gün önce başlanmasını önerirken; Jang ve ark. (22) gibi bazı araştırmacılar ilacın işlem günü başlatılmasını bildirmiştir. Kullanılan antibiyotikler arasında penisilin, ampisilin, klindamisin ve tetrasiklin bulunmaktadır.

Preoperatif Dezenfeksiyon

Cerrahi alanın işlem öncesi dezenfeksiyonu neredeyse tüm çalışmalarda önerilmiştir. Bu uygulamalar, lokal plak ve kalkül temizliğinden glikoksit ve metafen gibi kimyasal ajanlarla dezenfeksiyona kadar değişmektedir. En yaygın önerilen dezenfektan, %0.12 veya %2 konsantrasyonlarındaki klorheksidin olmuştur.

Operatör Sayısı

Grossman (1), Raghoobar ve Vissink (20), Tewari ve Chawla (18), Fegan ve Steiman (20) ile Guy ve Goerig (17) gibi bazı yazarlar; işlemin bir operatör tarafından diş çekmesi, diğerinin ise endodontik cerrahi manipülasyonu yapması gerektiğini savunmuştur. Bu uygulamanın, işlem süresini kısaltarak verimliliği artırdığı ve dişin ağız dışında kaldığı süreyi azaltarak başarıya katkıda bulunduğu ileri sürülmüştür. Bununla birlikte, çoğu çalışma tüm işlemlerin tek bir operatör tarafından yürütüldüğünü ve ekstraoral sürelerin benzer olduğunu bildirmiştir.

Diş Çekim Yöntemi

Diş çekimi yöntemleri çalışmalar arasında büyük farklılık göstermektedir. Grossman, Guy ve Goerig (17) ile Tewari ve Chawla (18) gibi yazarlar, forceps kullanımından önce yumuşak dokunun veya dişin gev-

şetilmesi amacıyla elevatör kullanımını bildirmiştir. Ancak çoğu yazar elevatör kullanılmaması gerektiğini ve dental forcepsin sadece kuron kısmına uygulanarak kök yüzeyine temas edilmemesi gerektiğini vurgulamıştır. Ayrıca, periodontal ligament hücrelerine zarar verilmesini önlemek için çekimin yavaş, kontrollü ve salınımlı hareketlerle yapılması gerektiği konusunda fikir birliği bulunmaktadır. İlginç şekilde, Jang ve ark. (22) diş sulkusuna #15 bistüri bıçağını yerleştirip, çekiç yardımıyla periodontal liflerin kesilmesini önermiştir.

Alveolün Korunması

Endodontik cerrahi işlemler sırasında, Grossman (1), Deeb (23) ve Nosonowitz (5) gibi bazı eski yazarlar, alveolün debris ve tükürükten korunması için steril gazlı bezle kapatılmasını önermiştir. Bu uygulama zamanla göz ardı edilse de, Cho ve ark. (24) 2016 yılında yayımladıkları çalışmada bu yöntemi hâlâ kullanmaktadır.

Dişin Tutulma Yöntemi

Diş çekildikten sonra çoğu operatör, kök yüzeyinin ve periodontal ligament hücrelerinin nemli kalması için kuronun serum fizyolojikle ıslatılmış gazlı bezle tutulmasını önermiştir. Benzer sayıda çalışma, dişin sadece mine yüzeyine temas edecek şekilde forcepsle tutulmasını önermiştir. Niemczyk (6), Kratchman (8) ve Peer (25), ayrıca forcepsin saplarına lastik bant takılarak diş sabit ve sürekli bir baskı uygulanmasını önermiştir.

Kök Nemlendirme Ortamı

Kökün nemlendirilmesinde serum fizyolojik neredeyse evrensel olarak tercih edilmiştir. Buna karşın Kratchman (8) ve Niemczyk (6), HBSS (Hank's Balanced Salt Solution) kullanımını önermiştir. Özellikle Kratchman (8), kök rezeksiyonu sırasında dişin periyodik olarak HBSS içinde bekletilmesinin, kökün kurumasını önlemede en iyi yaklaşım olduğunu belirtmiştir.

Kök Rezeksiyon Yöntemi

Kök ucu rezeksiyon yöntemleri farklılık göstermektedir. Birçok yazar, rezeksiyon uzunluğunu belirtmese de çoğu belli bir miktar rezeksiyon yapıldığını bildirmiştir. Örneğin, Grossman (7) 1982 tarihli çalışmasında sadece "gerekli görüldüğünde" rezeksiyon yapıldığını belirtmiştir. Rutin olarak kullanılan araçlar yüksek devirli el motorlarında kullanılan karbür veya elmas frezlerdir. Rezeksiyon uzunluğu genellikle 1-3 mm arasında bildirilmiş olsa da, Nosonowitz (5) 5 mm ve üzerini bildirmiştir.

Kök Ucu Preparasyonu

Rezeksiyon sonrasında kök ucu preparasyonu genellikle uygulanmıştır. Ancak Grossman (1), kanal dolgusu tamamlanmış dişlerde preparasyona gerek olmadığını savunmuştur. Guy ve Goerig (17), Dumsha ve Gutman (9), Fegan ve Steiman (20) gibi bazı yazarlar da sadece ihtiyaç duyulursa preparasyon yapılması gerektiğini belirtmiştir. Preparasyon uzunlukları ve yöntemleri de farklılık göstermektedir. Genellikle 2–4 mm arasında değişmekle birlikte, Deeb (23) kökün üçte biri kadar hazırlık yapılmasını önermiştir. Preparasyonlar genellikle karbür frez ile yapılmıştır. Ultrasonik alet kullanımı yalnızca Cho ve ark. (24) tarafından, ince köklü dişlerle sınırlı olarak bildirilmiştir.

Kök Ucu Dolgu Materyali

Geçmişte çoğu yazar, kök ucu dolgusu için amalgam kullanmıştır. Ancak daha güncel çalışmalarda (Cho et al. (24), Jang et al. (22), Choi et al. (26)) IRM, SuperEBA, MTA ve Endocem gibi modern materyaller tercih edilmiştir. Ayrıca, çinko oksit öjenol, cam iyonomer ve gutta-perka gibi diğer materyaller de kullanılmıştır. Dikkat çekici olarak Keller ve ark. (27), kök ucu dolgusunda alüminyum oksit seramik pinler kullanıldığını bildirmiştir.

Alveol Küretajı

Endodontik işlemler sonrasında diş tekrar alveole yerleştirilmeden önce tüm çalışmalar alveolde bir hazırlık aşaması tarif etmiştir. Bu hazırlık sadece pıhtının aspirasyonu veya serum fizyolojik ile yıkanması gibi basit bir uygulama olabileceği gibi cerrahi aletlerle küretaj da içerebilir. Küretaj yapıldığında bazı yazarlar yalnızca apikal bölgeye temas edilmesini önerirken, diğerleri böyle bir ayırım yapmamıştır.

Dişin Yerleştirilmesi

Dişin alveole yerleştirilmesinde iki yöntem bildirilmiştir. Çoğu çalışma parmaklarla yerleştirme ve ardından dijital baskı ile soket duvarlarına kompresyon uygulamasını önermiştir. Az sayıda çalışma ise hastanın ısırma kuvvetiyle dişin daha da oturtulmasını önermiştir.

Splint Uygulaması

Reimplantasyon sonrası splint uygulaması değişkendir. Birçok çalışmada yalnızca belirgin diş mobilitesi varsa splint uygulanmıştır. Ancak Dryden ve Arens (28) gibi bazı yazarlar tüm olgularda splint kullanımını savunmuştur. Splint süresi genellikle 7–10 gün ile 3–4 hafta arasında değişmiştir. Kullanılan materyaller arasında tel, akrilik, sütür ve hatta

kurşun folyo (Emmertsen ve Andreasen (4)) bulunmaktadır. Reimplante dişte oklüzal temasın azaltılması ise neredeyse tüm çalışmalarda ortak bir yaklaşımdır.

Kök İnceleme Yöntemi

Köklerde ek foraminal çıkış, isthmus veya kırık gibi anatomik varyasyonların endodontik işlemlerden önce incelenmesi, nadiren bildirilmiştir. Oysa modern endodontik cerrahi yaklaşımında bu adım başarı açısından kritik kabul edilmektedir. Kratchman (8), 1997 yılında kök incelemesinde dental operasyon mikroskobu (DOM) kullanımını önermiştir. Niemczyk (6), Choi et al. (26), Cho et al. (24) ve Jang et al. (22) de DOM kullanımını açıkça raporlayan az sayıdaki çalışmalardandır. Ayrıca bazı çalışmalarda kök yüzeyinin metilen mavisi ile boyanması da rapor edilmiştir. Buna karşılık çoğu çalışma, kökün incelenip incelenmediği veya farklı bir yöntem kullanılıp kullanılmadığını belirtmemiştir. Guy ve Gorig (17), #23 uçlu sonda ile inceleme yaptıklarını; Dryden ve Arens (28) ise büyütmeli lens ve metilen mavisi kullandıklarını bildirmiştir.

Ekstraoral Süre

Dişin ağız dışında tutulduğu süre çalışmalar arasında farklılık göstermiştir. Çoğu yazar, periodontal ligament hücrelerinin canlılığını koruyabilmek için bu sürenin minimumda tutulmasını önermiştir. Ekstraoral süre 2–3 dakikadan (Abid et al. (29)) 31–50 dakikaya kadar (Tewari ve Chawla (18)) değişmiştir. Çoğu çalışma bu sürenin 30 dakikanın altında tutulduğunu bildirmiştir. Jang ve ark. (22), 15 dakikadan az ekstraoral süresi olan olgularda başarı oranlarının daha yüksek olduğunu belirtmiştir.

Takip Süresi ve İçeriği

Postoperatif dönemde, hastaların düzenli takibi önemlidir ve bu nedenle takip randevularının 2 hafta, 1 ay, 3 ay, 6 ay ve 1 yıl aralıklarla planlanması önerilmektedir. Ancak, gerekirse takip aralıkları hastanın klinik durumu göz önünde bulundurularak uzatılabilir. Takip ziyaretlerinde, hastanın herhangi bir semptomu titizlikle kaydedilmeli ve dikkatlice değerlendirilmelidir. Ağız muayenesi sırasında, perküsyon testi, diş mobilitatesinin değerlendirilmesi, oklüzyonun gözlemi, palpasyon ve periodontal prob kullanımı ile sinüs traktı veya fistül oluşumu incelenmelidir. Ayrıca, periapikal bölgenin radyografik görüntülenmesi zorunlu olup, periapikal lezyonların değerlendirilmesi gereklidir. Önemle vurgulanmalıdır ki, periodontal dokunun iyileşmesini bozmamak amacıyla, cerrahi işlem sonrası erken dönemde periodontal probing uygulamasından kaçınılmalıdır.(30)

Sonuçların Değerlendirilmesi

Kısa Dönem Sonuçları (Cerrahi Sonrası 1. Hafta)

- Cerrahi müdahale sonrası, klinik semptomlarda belirgin bir iyileşme gözlemlenmelidir. Bu iyileşme, ağrının azalması veya tamamen kaybolması ve gingival fistülün iyileşmesiyle kendini gösterir.

- Periodontal dokunun iyileşme durumu dikkatle izlenmeli; replante edilen dişle çiğneme yeteneği, çiğneme sırasında ağrı veya rahatsızlık, gingival inflamasyon, diş mobilitesi, perküsyona duyarlılık ve hassasiyet gibi klinik bulgular titizlikle değerlendirilmeli ve kayıt altına alınmalıdır.

- Replante edilen diş ile antagonist dişler arasındaki erken temaslar da tespit edilmelidir.

Uzun Dönem Sonuçları (Cerrahi Sonrası 6. Ay ve Sonrası)

- Uzun dönem takipte, çiğneme ağrısının ve diş mobilitesinin olmaması, normal mastikasyon fonksiyonunun sağlanması gerektiği gözlemlenmelidir.

- Klinik muayenede, gingival inflamasyon, anlamlı rezesyon, perküsyona duyarlılık veya diş mobilitesinin gözlemlenmemesi gerekir.

- Periapikal radyografilerde, periapikal lezyonların iyileşmesi, yeni lezyonların oluşmaması ve periodontal ligament aralığının normalleşmesi beklenir.

- Kök rezorpsiyonu veya ankilozis bulgularının herhangi bir şekilde görülmemesi, başarılı bir iyileşme göstergesi olarak kabul edilmelidir.

Prognoz ve Komplikasyonlar

Kasıtlı reimplantasyon sonrasında periodontal doku iyileşmesinin dört temel türü vardır: periodontal ligament iyileşmesi, yüzey rezorpsiyonu iyileşmesi, inflamatuvar rezorpsiyon ve yer değiştirme rezorpsiyonu. (24)

1. Periodontal Ligament İyileşmesi: Bu iyileşme türü genellikle reimplantasyon işleminin hemen ardından elde edilen en iyi sonuç olarak kabul edilir. Kök yüzeyinde ve alveolar sokette hayatta kalan periodontal ligament (PDL) hücrelerinin varlığı, periodontal ligamentin yeniden bağlanması veya yeni bağlanma oluşumuyla iyileşmeye yol açar. Bu iyileşme genellikle hızlı ve etkili bir şekilde gerçekleşir, çünkü bu hücreler iyileşme sürecinde aktif bir rol oynar.(31,32)

2. Yüzey Rezorpsiyonu İyileşmesi: Yüzey rezorpsiyonu, kök yüzeyinde ve periodontal ligamentte sınırlı bir hasar meydana geldiğinde, sağlam periodontal ligamentlerin iyileşmesi ve tamiriyle gerçekleşen bir süreçtir. Bu tip iyileşme, kendi kendini sınırlayan bir süreçtir ve yeni sement ve periodontal ligament oluşumu ile tamir edilerek yeni bağlanmalar oluşur. Yüzey rezorpsiyonu, genellikle daha iyi prognozlara sahip olup, iyileşme sürecinin doğal bir parçasıdır.

3. İnflamatuar Rezorpsiyon: Bu tür rezorpsiyon, dişin reimplantasyonunu takiben devam eden inflamasyon nedeniyle alveolar kemikte ve kökte belirgin rezorpsiyon gelişmesiyle ortaya çıkar. İnflamatuar rezorpsiyonun hızlı ilerlemesi, kasıtlı reimplantasyonun başarısız olmasına neden olabilir. Bir meta-analizde, 838 replante dişin genel başarı oranı %88 olarak bildirilmiş olup, bu dişlerin %11'inde kök rezorpsiyonu nedeniyle başarısızlık gözlemlenmiştir.(33) Kök rezorpsiyonu, reimplantasyon başarısızlığının başlıca nedenlerinden biridir.

4. Diş Ankilozu ve Yer Değiştirme Rezorpsiyonu: Kök yüzeyinde veya periodontal ligamentte ciddi hasar durumlarında, kök ile alveolar kemik arasında doğrudan bir temas oluşur. Bu durum, kök ve kemik arasındaki füzyon ile karakterizedir ve kemik tamiri süreci başlar. Klinik olarak, dişin mobilitesinin kaybolması ve radyografik olarak periodontal ligament aralığının kaybolması ile tanınır. Bu tür bir iyileşme, genellikle en kötü prognozları işaret eder.

Uzun süre devam eden ekstraoral süre, kök kuruması ve periodontal ligament hücrelerinin canlılığının azalması, iyileşme sürecini olumsuz yönde etkileyebilir. Bu durum, eksternal kök rezorpsiyonu, kök füzyonu ve postoperatif enfeksiyon gibi komplikasyonlara yol açabilir. (34) Ayrıca, periapikal lezyonların yaygınlığı, periodontal durum, hasta yaşı, ekstraksiyon tekniğindeki uzmanlık düzeyi, alveolar soket hazırlığı ve kök ucu dolgu materyali seçimi gibi faktörler de reimplantasyonun prognozunu etkileyebilir.(35,36)

Güncel sistematik derlemeler ve meta-analizler, kasıtlı reimplantasyonun genel sağkalım oranını yaklaşık %88 olarak raporlamaktadır. (37) Başarı oranı, zamanla değişkenlik gösterir; kısa dönem başarı oranı (<6 ay) yaklaşık %90 iken, 12–36 ay arasında bu oran %65–80 arasında düşmekte, 36 ay sonrası ise stabil kalmaktadır.(38) Bu sonuçlar, replante dişlerin izlenmeye devam etmesini gerektirir ve bu dişlerin sonraki alternatif tedavi planlamaları, özellikle implant tedavisi açısından değerlendirilmelidir.

Kasıtlı reimplantasyonun bir tedavi yöntemi olarak seçimi tartışmalı olmuştur. Her ne kadar bildirilen çok sayıda endikasyon mevcut olsa da,

bu işlem genellikle doğal dişlerin korunması için son çare olarak değerlendirilmiştir (1). Daha önce de vurgulandığı gibi, bu prosedür birçok farklı aşamadan oluşmaktadır; bu da teknik ve materyallerde çok sayıda varyasyona yol açma potansiyeli taşımaktadır. Bu durum, bildirilen başarı oranlarındaki geniş değişkenliği açıklayabilir. Torabinejad ve ark. tarafından yapılan yakın tarihli bir sistematik derleme çalışmasında kasıtlı olarak reimplante edilen dişler için genel sağkalım oranı %88 olarak bulunmuş; daha güncel çalışmalarda ise başarı oranlarının %95'e kadar çıktığı gösterilmiştir (33). Son yıllarda, mikroteknoloji ve osteoindüktif biyomalzemelerin gelişimiyle birlikte, kasıtlı reimplantasyon uygulamalarında genel başarı oranı, kanıta dayalı analizlere göre %89,1'e kadar yükseldiği bildirilmektedir.(39) Choi, operasyon sonrası dört yıllık takip sürecinde kasıtlı reimplantasyon başarı oranını %91,2 olarak raporlamakta,(26) Pisano ise tek ve çok köklü dişlerde uygulanan kasıtlı reimplantasyon tedavisinin genel başarı oranını sistematik bir değerlendirme ile %86,7 olarak bildirmektedir.(40) Bu bulgular, geleneksel yöntemlerle tedavi edilemeyen dişlerin korunmasında kasıtlı reimplantasyon tedavi seçeneğinin giderek daha fazla klinisyen tarafından kabul gördüğünü ortaya koymaktadır.(41,42)

Geleneksel kök ucu cerrahisine yönelik modern mikroskobik cerrahi teknikleri Kim ve Kratchman tarafından tanımlanmıştır (10). Bu teknikler, dental operasyon mikroskobunun (DOM) kullanımı, ultrasonik aletler, mikro-enstrümanlar ve yüksek biyouyumluluğa sahip kök ucu dolgu materyallerini kapsamaktadır. Ayrıca, kökün en az 3 mm'lik kısmının rezekte edilmesi gibi daha özgül önerilerde bulunulmuştur.

Setzer ve ark. tarafından yürütülen çalışmalar (43, 44), apikal cerrahi için başarı oranlarını değerlendirmiş ve modern mikroskobik teknikler kullanıldığında, geleneksel tekniklere kıyasla daha üstün ve öngörülebilir başarı oranlarının elde edildiğini ortaya koymuştur. Bu nedenle, modern endodontik cerrahi teknik ve materyallerin kasıtlı reimplantasyon cerrahilerinde de kullanılması durumunda benzer şekilde daha iyi sonuçların elde edilmesi beklenebilir.

Torabinejad ve ark.'nın 2015 tarihli çalışmasında da belirtildiği üzere, kasıtlı reimplantasyon için evrensel olarak kabul görmüş bir klinik protokol henüz oluşturulmamıştır (33). Önerilen tekniklerin ve bu teknikleri destekleyen kanıtların değerlendirilmesi ve anlaşılması, böyle bir kılavuzun geliştirilmesinde atılacak ilk ve önemli adımdır.

Sonuç olarak son birkaç on yılda önerilen veya bildirilen teknikler arasında önemli ölçüde varyasyonlar mevcuttur. Geleneksel kök ucu cerrahisinde başarı oranlarının arttığı göz önüne alındığında (44), dental operasyon mikroskobu, boyama ajanları, ultrasonik enstrümanlar ve

daha yeni, biyouyumluluğu yüksek kök ucu dolgu materyallerinin kullanımı da kasıtlı olarak reimplante edilen dişlerin başarı ya da sağkalım oranlarını artırabilir.

REFERANSLAR

1. Grossman LI. Intentional replantation of teeth. *J Am Dent Assoc* 1966;72:1111–8.
2. Weinberger BW. *An Introduction to the History of Dentistry*. St. Louis, MO: C.V. Mosby Co.; 1948.
3. Grossman LI. A brief history of endodontics. *J Endod* 1982;8:S36–40.
4. Emmertsen E, Andreasen JO. Replantation of extracted molars a radiographic and histological study. *Acta Odontol Scand* 1966;24:327–46.
5. Nosonowitz DM. On intentional replantation. *NY J Dent* 1972;42:44–7. *passim*.
6. Niemczyk SP. Re-inventing intentional replantation: a modification of the technique. *Pract Proced Aesthet Dent* 2001;13:433–9. *quiz* 440.
7. Grossman LI. Intentional replantation of teeth: a clinical evaluation. *J Am Dent Assoc* 1982;104:633–9.
8. Kratchman S. Intentional replantation. *Dent Clin North Am* 1997;41:603–17.
9. Dumsha TC, Gutmann JL. Clinical guidelines for intentional replantation. *Compend Contin Educ Dent* 1985;6(604):606–8.
10. Kim S, Kratchman S. Modern endodontic surgery concepts and practice: a review. *J Endod* 2006;32:601–23.
11. Carr GB, Murgel CAF. The use of the operating microscope in endodontics. *Dent Clin North Am* 2010;54:191–214.
12. Abedi HR, Van Mierlo BL, Wilder-Smith P, et al. Effects of ultrasonic root-end cavity preparation on the root apex. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1995;80:207–13.
13. Torabinejad M, Ford TRP. Root end filling materials: a review. *Dent Traumatol* 1996;12:161–78.
14. Nair U, Ghattas S, Saber M, et al. A comparative evaluation of the sealing ability of 2 root-end filling materials: an in vitro leakage study using *Enterococcus faecalis*. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 2011;112:e74–7.
15. Shokouhinejad N, Nekoofar MH, Razmi H, et al. Bioactivity of EndoSequence Root Repair Material and Bioaggregate. *Int Endod J* 2012;45:1127–34.
16. Kingsbury BC Jr, Wiesenbaugh JM Jr. Intentional replantation of mandibular premolars and molars. *J Am Dent Assoc* 1971;83:1053–7.
17. Guy SC, Goerig AC. Intentional replantation: technique and rationale. *Quintessence Int* 1984;15:595–603.
18. Tewari A, Chawla H. Intentional replantation of pulpal or periapically involved permanent posterior teeth. *J Indian Dent Assoc* 1974;46:385–9.
19. Bender IB, Rossman LE. Intentional replantation of endodontically treated teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1993;76:623–30.
20. Fegan S, Steiman HR. Intentional replantation. *J Mich Dent Assoc* 1991;73:22–4.
21. Koenig KH, Nguyen NT, Barkhordar RA. Intentional replantation: a report of

- 192 cases. *Gen Dent* 1988;36:327–31.
22. Jang Y, Lee S-J, Yoon T-C, et al. Survival rate of teeth with a C-shaped canal after intentional replantation: a study of 41 cases for up to 11 years. *J Endod* 2016;42:1320–5.
 23. Deeb E. Replantation of teeth—a recommended procedure. *J South Calif Dent Assoc* 1971;39:24–9.
 24. Cho SY, Lee Y, Shin SJ, et al. Retention and healing outcomes after intentional replantation. *J Endod* 2016;42:909–15.
 25. Peer M. Intentional replantation—a ‘last resort’ treatment or a conventional treatment procedure? Nine case reports. *Dent Traumatol* 2004;20:48–55.
 26. Choi YH, Bae JH, Kim YK, et al. Clinical outcome of intentional replantation with pre-operative orthodontic extrusion: a retrospective study. *Int Endod J* 2014;47: 1168–76.
 27. Keller U. A new method of tooth replantation and autotransplantation: aluminum oxide ceramic for extraoral retrograde root filling. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1990;70:341–4.
 28. Dryden JA, Arens DE. Intentional replantation. A viable alternative for selected cases. *Dent Clin North Am* 1994;38:325–53.
 29. Abid WK. Post-surgical outcomes and prognosis of intentionally replanted lower posterior teeth. *Al-Rafidain Dent J* 2010;10:332–40.
 30. Hatakeyama, Y., Uzel, M. I., Santana, R. B. & Ruben, M. P. Relationship between position of probe tip and periodontal tissues after periodontal surgery in dogs. *Int J. Periodontics Restor. Dent.* 25, 247–255 (2005).
 31. Garrido, I., Abella, F., Ordinola-Zapata, R., Duran-Sindreu, F. & Roig, M. Combined Endodontic Therapy and Intentional Replantation for the Treatment of Palato-gingival Groove. *J. Endod.* 42, 324–328 (2016).
 32. Nasjleti, C. E., Caffesse, R. G. & Castelli, W. A. Replantation of mature teeth without endodontics in monkeys. *J. Dent. Res.* 57, 650–658 (1978).
 33. Torabinejad, M. et al. Survival of Intentionally Replanted Teeth and Implant-supported Single Crowns: A Systematic Review. *J. Endod.* 41, 992–998 (2015).
 34. Weine, F. S. The case against intentional replantation. *J. Am. Dent. Assoc.* 100, 664–668 (1980).
 35. Luo, Y. et al. Comparison of the outcome of intentional replantation in teeth with or without periodontal involvement: a retrospective study. *J. Endod.* (2024).
 36. Javed, F., Zafar, K. & Khan, F. R. Outcome of intentional replantation of endodontically treated teeth with periapical pathosis: A systematic review and meta-analysis. *Aust. Endod. J.* 49, 494–507 (2023).
 37. Chogle, S., Chatha, N. & Bukhari, S. Intentional Replantation of Teeth is a Viable and Cost-effective Alternative Treatment to Single-Tooth Implants. *J. Evid. Based Dent. Pr.* 19, 86–88 (2019).
 38. Wang, L. et al. Clinical outcomes after intentional replantation of permanent

- teeth: A systematic review. *Bosn. J. Basic Med. Sci.* 20, 13–20 (2020).
39. Mainkar, A. A Systematic Review of the Survival of Teeth Intentionally Replanted with a Modern Technique and Cost-effectiveness Compared with Single-tooth Implants. *J. Endod.* 43, 1963–1968 (2017).
 40. Pisano, M. et al. Intentional Replantation of Single-Rooted and Multi-Rooted Teeth: A Systematic Review. *Healthcare (Basel)* 11 (2022).
 41. Praveen, K. V. et al. Current Trends in Intentional Replantation Treatment Among Endodontists and Postgraduate Students in India, the United States of America, and the United Kingdom: A Cross-Sectional Study. *Cureus* 15, e39742 (2023).
 42. Plotino, G., Abella, S. F., Bastos, J. V. & Nagendrababu, V. Effectiveness of intentional replantation in managing teeth with apical periodontitis: A systematic review. *Int. Endod. J.* 56, 499–509 (2023).
 43. SetzerFC, KohliMR, ShahSB, et al. Outcome of endodontic surgery: a meta-analysis of the literature—part 2: comparison of endodontic microsurgical techniques with and without the use of higher magnification. *J Endod* 2012;38:1–10.
 44. SetzerFC, ShahSB, KohliMR, et al. Outcome of endodontic surgery: a meta-analysis of the literature—part 1: comparison of traditional root-end surgery and endodontic microsurgery. *J Endod* 2010;36:1757–65.

Bölüm 2

KALSİYUM SİLİKAT ESASLI BİYOMATERYALLERİN ENDODONTİDEKİ KULLANIM ALANLARI VE ÖZELLİKLERİ

Tolgahan GÜRMEN¹, Bülent YILMAZ²

¹ İstanbul Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Endodonti Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye. E-posta:tolgahangurmen@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5075-878X

² İstinye Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye. E-posta: byilmaz@istanbul.edu.tr ORCID: 0000-0003-4118-3475

Giriş

Günümüzde endodontik tedavinin başarısı pek çok faktöre bağlıdır. Bu faktörler arasında yer alan, uygulanan materyalin türü ve özellikleri de oldukça önem arz etmektedir. Bu nedenle malzeme bilimindeki gelişmelerin bir sonucu olarak, diş hekimliği kliniklerinde kalsiyum silikat bazlı biyomateryaller endodontik tedavi uygulamalarına dahil edilmiştir. (X. Wang et al., 2023)

Kalsiyum silikat esaslı biyoseramikler, sahip oldukları üstün biyouyumluluk, biyoaktiflik ve sızdırmazlık özellikleri nedeniyle endodontik tedavide yaygın olarak kullanılmaktadır.(Parirokh M, 2018) Bunların yanında bu biyomateryallerin, üstün fizikokimyasal ve biyolojik özellikleri sayesinde uygulandığı dokuyla da kimyasal olarak bağlanabilmesi ve sızdırmazlık sağlaması, kan ve benzeri doku sıvılarında rezorpsiyona uğramaması ve belirgin radyoopasite özelliği nedeniyle endodonti alanında günümüzde artık son derece yaygın şekilde kullanımı olmaktadır. (Swarup, 2013)

Genel olarak kalsiyum silikat esaslı materyallerin endodonti kliniğinde uygulama alanları şu başlıklar altında sınıflandırabiliriz:

1- Vital Pulpa Tedavilerinde:

- A) İndirekt Pulpa Kaplama
- B) Direkt Pulpa Kaplama
- C) Parsiyel Pulpotomi (Cvek Amputasyonu)
- D) Total Pulpotomi

2- Kök Kanal Dolgu Maddesi Olarak:

- A) Kök Kanal Dolgu Patı (Sealer)
- B) Kök Gelişimi Tamamlanmamış Dişlerde Apikal Bariyer Olarak

3- Perforasyonların Yönetiminde:

- A) İatrojenik sebeplerle Perfore Olmuş Dişlerde
- B) İç Kök Rezorpsiyonlu Perfore Olmuş Dişlerde

4- Rejeneratif Endodonti Prosedürlerinde

5- Retrograd Kök Ucu Dolgu Materyali Olarak

1) Vital Pulpa Tedavileri

1.A) İndirekt Pulpa Kaplama

İndirekt pulpa kaplama işlemi genellikle pulpaya yaklaşılmış ancak pulpanın açığa çıkmadığı yumuşak ve sert çürük dentin içeren derin kavite hazırlıklarında kullanılmaktadır. (J. R. N. Kim, A.; Fouad, A.F. , 2015) İndirekt pulpa kaplama işlemi vital pulpa tedavilerinin öncüsü haline gelmiş olup pulpaya yakın derin çürük lezyonu mevcut ancak geri dönüşümsüz pulpitis semptomları göstermeyen dişlerde kullanılmalıdır. Kavitenin çevresindeki çürükler ve kavite tabanındaki yumuşak çürük dokusu temizlenirken, pulpanın açığa çıkmasını engellemek için pulpaya en yakın kısımda çürük bırakılarak uygulanabilmektedir. Daha sonra bu bölge uygun bir biyomateryal ile kapatılarak izole edilmelidir. (Ranly DM, 2000) Avrupa Endodonti Birliği'nin (ESE) 2019 yılında onayladığı tanım ve terminolojilere bakıldığında zaman, tamamen sert dentine ulaşana kadar yumuşak ve sert çürük dentin temizlenerek yapılan indirekt pulpa kaplama işlemi agresif kabul edilmekte ve aşırı tedavi olarak görülmektedir. (H. F. G. Duncan, K.M.; Tomson, P.L.; Simon, S.; El-Karim, I.; Kundzina, R.; Krastl, G.; Dammaschke, T.; Fransson, H.; Markvart, M.; et al. , 2019)

İndirekt pulpa kaplama işlemi için pek çok materyal kullanılmış ve test edilmiştir. Kalsiyum hidroksit geçmişte altın standart olarak kabul edilmekteydi. Kalsiyum hidroksit kullanılarak pulpa iyileşmesinin elde edildiği ilk raporlar 1934-1941 yılları arasına kadar dayanmaktadır. Ancak yine de birçok dezavantaja sahiptir. Dentin duvarlarına yetersiz bağlanımı, oluşan dentin köprülerindeki çoklu tünel defektleri oluşması, zayıf sızdırmazlığı, zaman içerisinde çözünmesi ve yetersiz antibakteriyel özellikleri olması bu dezavantajlara örnek olarak gösterilebilir. (Fava, 1999) (Cox, 1996) (Hilton, 2009)

Günümüzde kalsiyum hidroksitin dezavantajlarını elimine etmek için daha tahmin edilebilir klinik sonuçlar veren yeni nesil kalsiyum silikat esaslı biyomateryaller tercih edilmektedir. Bu materyallerin tercih edilme sebepleri olarak; yüksek biyouyumlulukları, vücuttaki yenileyici reaksiyonları indüklemeye yetenekleri, yüksek sızdırmazlıkları ve daha kaliteli dentin köprüsü oluşturma kabiliyetleri örneklendirilebilir. (Gandolfi, 2015) (Mickenausch, 2010)

1.B) Direkt Pulpa Kaplama

Direkt pulpa kaplama işlemi; ağrısız ve vital durumda ekspozite olan diş pulpasının sağlığını korumayı amaçlayan bir tedavi prosedürüdür. Bu işlem sayesinde dişlere daha uzun süreli ve kök kanal tedavisi gibi invaziv girişimlere gerek kalmadan sağlığına devam etme şansı tanınır. (Caplan DJ, 2005) Pulpanın ekspozite olması; travmatik (çürük olmayan dişlerde, diş travması veya kuron preparasyonu sırasında oluşan iatrojenik durumlar gibi) veya çürük kaynaklı olabilir. Bu farklı durumlar arasındaki

temel fark, pulpanın durumu ve buna bağlı tepkisi ile pulpa dokularının potansiyel bakteriyel kontaminasyonudur.(de Souza Costa CA, 2000) Dolayısıyla, direkt pulpa kaplama işleminde bu durumlara bağlı olarak başarı oranlarında değişkenlik görülebilir. Çürük kaynaklı enfeksiyonun olaya dahil olduğu pulpa açığa çıkma durumlarında başarı oranı, travmaya bağlı veya iatrojenik sebeplere kıyasla daha düşük olarak kabul edilebilir. (Al-Hiyasat AS, 2006)

Direkt pulpa kaplama işlemlerinde potansiyel prognozu etkileyen bir diğer önemli faktör ise kullanılan materyaldir. (Schwendicke F, 2016) Geçmişte, kalsiyum hidroksit (CH) direkt pulpa kaplama işlemlerinde altın standart olarak görülmekteydi. Fakat, kalsiyum hidroksitin yerini yavaş yavaş kalsiyum silikat bazlı biyoseramikler almaya başladı. Bu değişimin sebebi, kalsiyum silikat bazlı biyoseramiklerin; mükemmel biyoaktivite, biyouyumluluk, sızdırmazlık yeteneği ve birçok üstün mekanik özelliklere sahip olmasıdır.(Brizuela C, 2017) Kalsiyum silikat bazlı biyomateriyallere örnek olarak MTA (mineral trioksit agregat) verilebilir. MTA, olgunlaşmamış dişlerde dentin oluşumunu ve doku yenilenmesini destekleme konusunda önemli bir yeteneğe sahiptir. Bu nedenle, geri dönüşümlü pulpitisli dişlerde pulpa açığa çıkması durumunda sıklıkla kullanılmaktadır. Şimdiye kadar, direkt pulpa örtüsünde MTA kullanımını araştırmak için birçok çalışma yapılmıştır. (Farsi N, 2006) MTA'nın etki mekanizması kalsiyum hidroksitle benzerlik gösterse de bazı farklılıklar vardır. MTA'nın hidrasyonu sırasında oluşan kalsiyum hidroksit, doku sıvısına yavaş yavaş salınır ve pulpa ile doğrudan temasta olduğunda nekroza yol açmaz. Bunun yerine, MTA tozu uygulama esnasında su ile karıştırıldığında, tozdaki kalsiyum silikatlar hidrate olarak kalsiyum silikat hidrat jeli ve kalsiyum hidroksit oluşturur.(Komabayashi, Zhu, Eberhart, & Imai, 2016) MTA'nın avantajlarının, sızdırmazlık yeteneği, biyouyumlu olma, biyoaktivite ve mineralize doku oluşumunu destekleme kapasitesi olduğuna inanılır. Ayrıca, MTA'nın daha düzgün ve kalın dentin köprüsü oluşturması, daha az inflamatuvar yanıt vermesi ve pulpa dokusunda daha az nekroza neden olması nedeniyle kalsiyum hidroksitten daha üstün olduğu düşünülmektedir. (Ford T, 1996) MTA'nın antibakteriyel etkisi Parirokh ve Torabinejad tarafından yapılan derlemede tartışmalı olarak ele alınmıştır. MTA, bazı fakültatif bakteriler üzerinde antibakteriyel etki göstermiş olsa da kesinlikle anaerobik bakteriler üzerinde herhangi bir etki göstermemiştir. (Torabinejad M, 1995) MTA enfekte süt dişlerine direkt pulpa kaplama materyali olarak uygulandığında ilk 5 aylık periyotta çeşitli histolojik reaksiyonlar (enflemasyon, nekroz, internal rezorpsiyon, odontoblastların düzensizleşmesi vb.) gösterse de klinik olarak belirli bir üstünlükten bahsedilebilecek şekilde iyileşme potansiyeli sağladığı gösterilmiştir. (Caicedo R, 2006)

Bu pozitif etkilerinin yanında her materyalde olduğu gibi MTA'nın da bazı dezavantajları vardır. Bunlardan bazıları; uygulamadaki zorluklar, uzun sertleşme süresi ve kuronaldeki renklemeler şeklinde örneklendirilebilir. Sertleşme süresini ele alacak olursak bu durum hekim ve hasta için de bir dezavantajdır: Uygulama iki seans gerektirecektir, ilk seans MTA ile kaplamadan sonra ancak ikinci seansta restorasyonun uygulanması gerekmektedir. Bunların yanında bakteri kontaminasyonu olasılığı da doğurmaktadır. (Kogan P, 2006) Bu gibi sebeplerle MTA ile sınırlı kalınmayıp farklı kalsiyum silikat esaslı materyal arayışlarına da girilmiştir. ProRoot MTA ve MTA Angelus ilk olarak ortaya çıkan materyallerden bazılarıdır. Oriinal MTA'ya kıyasla MTA Angelus, çok benzer histolojik reaksiyonlar göstermesine rağmen yaklaşık %70 oranında daha kısa sertleşme süresine sahiptir. (Kunert M, 2022) Bunların yanında, Biodentine ve BioAggregate gibi biyomateryaller de dahil edilmiştir. Biodentine üzerine yapılan pek çok çalışma MTA'ya kıyasla daha fazla istenen özelliğe sahip olduğunu ortaya koymuştur. Sertleşme süresinin kısa olması, kullanım kolaylığı ve renklemelere sebep olmaması gibi üstün özellikleri vardır. (Nowicka A, 2015) Bir çalışmada da, pulpası ekspoze olmuş molar dişlerde direkt pulpa kaplama materyali olarak MTA ve Biodentine kıyaslanmış, biyolojik reaksiyonlara bakıldığı zaman Biodentine'de daha yüksek oranda dentin köprüsü olduğu gösterilmiş ve bu da iyi bir alternatif olabileceği konusunda fikir vermiştir. (Hoseinifar R, 2020) Başka bir çalışmada BioAggregate'ın kısa sertleşme süresi ile birlikte renklemeye göstermediği ve çok daha üstün estetik geri dönüşleri olduğu gösterilmiştir. (Parinyaprom N, 2018)

Genele baktığımız zaman kalsiyum silikat esaslı materyallerin, pulpa hücrelerinin proliferasyonu ve tersiyer dentin oluşumunun sağlanması adına çok yüksek biyoaktiviteye ve biyouyumluluğa sahip olduğunu, pH değerlerinin yüksek olması sebebiyle iyi antibakteriyel özelliklere sahip olduğu söylenebilir. MTA, kendi yüzeyi ve dentin yüzeyi arasında hem kimyasal hem fiziksel bir bağ oluşturarak üstün sızdırmazlık özelliği sunmaktadır. MTA'dan sonra üretilen materyallerde ise bu özellik MTA'dan dahi yüksek başarı oranı göstermektedir. Aynı zamanda yıka-solüsyonlarının materyallere olan etkileri göz önünde bulundurulduğunda Biodentine'in MTA'ya kıyasla daha az etkilendiği ve dolayısıyla pulpa kaplama tedavisinin uzun süreli prognozunda daha başarılı sonuçlar verdiği gösterilmiştir. (Ji M, 2022) (Youssef AR, 2019) (Öncel Torun Z, 2015) (A. M. Guneser MB, Eldeniz AU. , 2013) (Kunert M, 2022)

1.C) Parsiyel Pulpotomi (Cvek Amputasyonu)

Çürük veya travma gibi sebeplerle açığa çıkmış olan vital pulpanın yönetimi için çeşitli tedavi yöntemleri araştırılmıştır. Bunlar; direkt pulpa kaplama, parsiyel pulpotomi ve total (servikal veya kuronal) pulpo-

tomidir. Parsiyel pulpotomi, açığa çıkan pulpa dokusunun hasarlı veya iltihaplı kısmının, geride sağlıklı kuronal ve radiküler pulpa dokusu bırakmak için 2 mm derinliğe kadar çıkarıldığı işleme denir. (C.D. Fong, 2002) Canlı dişlerde irreversibl pulpitis semptomları varlığında, çürük dokunun tamamen ortadan kaldırılması ve mümkünse pulpa dokusunun geri dönüşü olmayan enflamasyonlu kısmının çıkartılması her zaman uygun bir prosedürdür. Pulpotomi veya kök kanal tedavisi arasındaki tedavi seçimi, kanama durdurulduktan sonra pulpa dokusu büyütme altında gözlemlenerek belirlenmelidir. Parsiyel pulpotomi yapıldığı zaman kanama birkaç dakika içinde kontrol altına alındığında pulpa dokusunun inflamasyonlu kısmının etkili şekilde çıkarıldığı düşünülebilir. (H. F. Duncan, Galler, K.M., Tomson, P.L., Simon, S., El-Karim, I., Kundzina, R. et al. , 2019) Bu işlem sonunda geride kanla dolu homojen ve yoğun görünümüne bir doku kaldığında tedavi başarısı ve pulpa sağkalım olasılığı ciddi anlamda artabilmektedir. (Caliskan, 1995)

Parsiyel pulpotomi, pulpa dokusu için biyolojik bir ortam oluşturur ve uygun materyaller kullanıldığında bakteriyel enfeksiyonu önler. Kullanılacak olan malzeme antibakteriyel, biyouyumlu, sızdırmaz ve sert doku oluşumunu uyarıcı etkide olmalıdır. Son zamanlarda bu özellikleri sebebiyle vital pulpa tedavileri için altın standart olarak MTA kullanımı uygun görülmektedir. (D.E. Witherspoon, 2008) Ancak geleneksel MTA'nın da renkleşme potansiyeli, ağır metal içeriği (arsenik, krom, kurşun), kullanım zorluğu, uzun sertleşme süresi ve pahalılığı gibi bazı dezavantajları vardır. MTA'nın bu dezavantajlarını elimine etmek amacıyla yeni nesil kalsiyum silikatlar üzerine çalışmalar yapılmaktadır. (Kang, 2016)

1.D) Total Pulpotomi

Çürük veya travma gibi sebeplerle pulpası açığa çıkan, vital, radyografik olarak patoloji görüntüsü vermeyen ve kök pulpasının ise sağlıklı olduğu durumlarda uygulanan bir tedavi yöntemidir. Bu tedavi yöntemi, pulpadaki enflamasyonun kuronalde derinlere indiği ve açığa çıkan pulpanın geniş olduğu durumlarda tercih edilmektedir. Kuronalde kalan pulpa dokusu tamamen çıkarılır ve kanama kontrolü sağlanarak radiküler pulpanın üzeri sızdırmaz, biyouyumlu, antibakteriyel etkili bir materyal ile örtülmelidir. (Gokcek M, 2016)

2) Kök Kanal Dolgu Maddesi Olarak

2.A) Kök Kanal Dolgu Patı (Sealer)

Kök kanal tedavisinin amacı, kanalın dezenfeksiyonu ve kanal boşluğunun 3 boyutlu olarak doldurulmasıyla apikal periodontitisin önlenmesi ve iyileştirilmesidir. Kök kanal boşluğunu doldurmaktaki amaç ise,

mikroorganizmaların ve ürünlerinin difüzyonunu önlemektir. Bunun için günümüze kadar katı malzeme kullanımından kanal patı ve gutta-perka konileriyle birlikte kanal dolgu patı kullanılmasına kadar pek çok malzeme ortaya çıkmıştır. (Rossi-Fedele, 2017) Kanal dolgu patı olarak çinko oksit ojenol, epoksi reçine, cam iyonomer ve silikon esaslı materyaller geliştirilmiştir. Son yıllarda ise kalsiyum silikat esaslı kanal dolgu patları piyasaya sürülmüş ve özellikle epoksi reçine ve ojenol içerikli patlarla kıyaslanarak kapsamlı şekilde araştırılmıştır. (Silva Almeida, 2017) Geleneksel kanal dolgu patlarına kıyasla kalsiyum silikat esaslı patlar hidrolik ve higroskopik bir sertleşme sürecine sahiptir. Bunun yanında antimikrobiyal, biyouyumluluk ve biyoaktivite özellikleri gibi çeşitli avantajlara da sahiptir. (Singh, 2016) Sertleşme sırasında mineral tabakası oluşturmaları dentin duvarlarıyla kimyasal bir bağ oluşturarak sızdırmazlık yeteneklerine katkı sunmaktadır. (Lim, 2020) Yine de, kalsiyum silikat esaslı kanal dolgu patlarının sertleşme esnasındaki boyutsal stabilitesi açısından çelişkili sonuçlar göstermiştir. Bazı çalışmalar sertleşme esnasında stabilitesinin korunduğunu öne sürerken bazı çalışmalarda ise sertleşme esnasında hafif bir genişleme oluşturduğu gösterilmiştir. (Zhou, 2013)

Sertleşme süresi bir malzemenin yüzeyindeki girintiler görünmez hale geldiğinde kaydedilmektedir. Kalsiyum silikat esaslı kanal dolgu patları AH Plus gibi geleneksel formüllere kıyasla daha kısa sertleşme sürelerine sahiptirler. (Mendes, 2018) Bununla birlikte uzayan sertleşme süreleri de bazı çalışmalarda görülmüştür. Bunun sebebi olarak da kök kanalının kuru olmasının kalsiyum silikat esaslı patların sertleşme süresini uzattığı belirtilmiştir. (Zordan-Bronzel, 2019)

Kalsiyum silikat esaslı kanal dolgu patlarının boyutsal stabilitesi, özellikle film kalınlığı arttığı zaman sertleşirken büzüşen çinko oksit ojenol esaslı dolgu patlarına kıyasla çok daha iyi sonuçlar vermektedir. (Trobe, 2015) Lee ve ark. yapmış olduğu bir çalışmada AH Plus, AD Seal ve Radic-Sealer gibi 3 farklı epoksi reçine içerikli dolgu patı, EndoSeal MTA ile boyutsal stabilite açısından kıyaslanmıştır. Sonuç olarak AH Plus ve Endoseal MTA en az boyutsal değişimi göstermiş ve EndoSeal MTA'nın 30 gün sonunda dahi AH Plus'tan daha üstün olduğu ortaya konmuştur. (Lee, 2017)

Kalsiyum silikat esaslı kanal dolgu materyallerinin sızdırmazlık yeteneği, deneysel metodlar ve malzemelerin kendine has özellikleri sebebiyle değişiklik göstermektedir. Genel olarak geleneksel epoksi reçine esaslı materyallerin kalsiyum silikat esaslı materyallere göre daha az sızdırma göstermektedir. (Pawar SS, 2014) Ancak boya penetrasyon yöntemini kullanan bazı sızdırmazlık çalışmalarında ise kalsiyum silikat esaslı mater-

yallerin epoksi reçine esaslı materyallere göre anlamlı derecede üstün olduğu gösterilmiştir. (Ballullaya SV, 2017) Asawaworarit ve ark. yaptığı bir çalışmada ise, geleneksel reçine bazlı dolgu materyalleri 7 gün sonrasında daha iyi sızdırmazlık gösterirken 4 hafta sonrasında ise kalsiyum silikat esaslı materyallerin daha iyi sızdırmazlık gösterdiği vurgulanmıştır. Buradan da tamamen sertleşme söz konusu olduğunda kalsiyum silikat esaslı materyallerin daha iyi bir sızdırmazlık sunduğu kanısına varmışlardır. (Asawaworarit W, 2016)

Kalsiyum silikat esaslı kanal dolgu materyalleri dentine mikrome-kanik olarak bağlandıkları için arayüzdeki boşluğu azaltır ve gelişmiş bağlanma direnci sunmaktadır. Bazı çalışmalar geleneksel epoksi reçine materyallerle kalsiyum silikat esaslı materyallerin benzer bağlanma direnci gösterdiğini göstermiştir. Ancak genel olarak reçine bazlı dolgu materyallerinin bağlanma direnci daha yüksektir. (Lim, 2020)

Kalsiyum silikat esaslı materyaller sertleştikten sonra sertliği yüksek materyallerdir ve dentin ile arasında hidroksiapatit kristalleri oluşturduğu bilinmektedir. Bunun yanında, dentin tübüllerine nüfuz etme özellikleri de mevcuttur. Bunun gibi birçok özelliği sebebiyle kanal tedavisinin tekrarı gerektiği zaman çeşitli zorluklarla karşılaşma ihtimali söz konusudur. (H. K. Kim, E.; Lee, S.-J.; Shin, S.-J. , 2015) Ersev ve ark. yaptığı bir çalışmada Hybrid Root Seal, Endosequence BCSealer, Activ GP System ve AH Plus kıyaslanmış ve tedavinin tekrarlanabilirliği açısından farklı dolgu patları ve dolgu yöntemleri kıyaslandığında anlamlı bir fark bulunmamıştır. (Ersev, 2012) Simsek ve ark. yaptığı SEM analizinde ise, lateral kondensasyon tekniği ile iRoot SP, AH Plus ve MM Seal kullanılarak doldurulan düz köklü premolarlarda hiçbir grupta dolgu materyalinin tamamen çıkartılamadığı ve en fazla kalıntının da apikal üçlüde olduğu gösterilmiştir. (Simsek, 2014)

2.B) Kök Gelişimi Tamamlanmamış Dişlerde Apikal Bariyer Olarak

Genç hastalarda henüz kök gelişimi tamamlanmamışken çürük veya travmaya bağlı olarak pulpa nekrozu gelişebilir. Pulpanın nekroz olmasını takiben de kökün uzaması, kalınlaşması ve dentin oluşumu mekanizmaları da durmaktadır. Bu tabloya bağlı olarak da klinisyenler sıklıkla kök kanalları geniş, duvarlar ince ve apikal foramen ise açık bir kök ile karşılaşmaktadır. Apeksifikasyon işlemi ise bu zor durumu; apikal foramenin kalsifiye sert bir dokuyla kapanmasını sağlayabilmek veya açık apeksli kökte yapay bir apikal bariyer oluşturarak kontrol altına almayı amaçlayan bir tedavi yöntemidir. (Hargreaves, 2016) Dişin kök gelişimi, sürmesinden itibaren 3 yıl daha devam ettiği görülmektedir. (CM., 1960) Bu tarz dişlerin endodontik tedavisi yukarıda bahsedilen sebepler yüzün-

den son derece zorlayıcıdır. Kök gelişiminin hangi safhasında nekrozun oluştuğuna göre de zorluk derecesi değişim göstermektedir. Kök kanal tedavisi yaparken mekanik şekillendirme, irrigasyon solüsyonları, çeşitli irrigasyon teknikleri ve kanal içi medikamanlar çoğu durumda dezenfeksiyon adına olmazsa olmaz olarak düşünülebilir fakat bu durumda ise kök dentinini ve çevre dokuları korumak adına klinisyenin elini zayıflatabilmektedir. Bunların yanında apikalde düzenli bir yapıdan bahsedemeyeceğimiz için elektronik apeks bulucularla da çalışma uzunluğunun belirlenmesi çoğu zaman yeterli ve güvenli olmayabilmektedir. Aynı zamanda da obturasyon aşamasında kanal dolgu materyallerinin periapikal bölgeye taşma riski oldukça yüksektir.(Trobe M, 2010)

Kalsiyum hidroksit sert kalsifiye doku oluşumunu indüklemek adına bu gibi durumlarda uzun süreler boyunca kullanılmıştır. Bu yöntem öngörülebilir sonuçlar veren etkili bir yöntem olarak kabul görse de klinik olarak da birçok risk faktörü taşımaktadır.(Sheehy, 1997) Bunlardan bazılarını; kalsifiye dokunun oluşması için gereken sürenin uzun olması buna bağlı olarak çok fazla seans ve hastanın kooperasyonunda problemler yaşanabilmesi, seanslar arasında geçici restorasyon materyalindeki sızıntılara bağlı olarak tekrar enfeksiyon riski, dişin kırılmalara karşı direncinin düşmesi, oluşacak olan kalsifiye bariyerin gözenekli ve eser miktarda da yumuşak doku içermesi gibi pek çok örneklerle sınıflandırabiliriz. (Felippe, 2005) (J. O. F. Andreasen, B.; Munksgaard, E.C. , 2002) (Binnie, 1973)

Kalsiyum hidroksitin bu dezavantajlarını giderebilmek adına bazı materyaller geliştirilmiştir. İlk olarak MTA apeksifikasyon tedavisinde, Giuliani ve arkadaşlarının MTA'yı amalgam ile karıştırarak apeksifikasyonda kullanmaları ile birlikte literatüre girmiştir. Bu çalışmada apikal bölge dezenfekte edildikten sonra MTA ve amalgam karışımı kökün apikaline yerleştirilmiş ve 1 hafta sonra da kanallar termoplastik gutta perka ile doldurulmuştur. Sonuçlar ise sert doku oluşumunun gözlelenebildiğini göstermiştir. (Giuliani V, 2002) MTA simanı, sızdırmazlık yeteneği yüksek ve kök çevresi dokuların da rejenerasyonunu destekleyici özelliklere sahip bir materyaldir. Apeksifikasyon esnasında apikal bölgeye bir taşıyıcı ile taşınabilir, enjekte edilebilir veya vertikal olarak kondanase edilerek uygulanabilmektedir. Bu şekilde periapikal lezyonlu veya lezyonsuz kök ucu açık dişlerde bir tıkaç oluşturabilirler. Apikal tıkaç sertleştikten sonra kalan kanal kısmı ise gutta-percha ve dolgu materyalleriyle doldurulabilir. Bu tekniğin kısa tedavi süresi ve yüksek sızdırmazlık gibi avantajları vardır.

Ancak yine de MTA'nın da zor kullanım, uzun sertleşme süresi, renkleşme ve yüksek maliyet gibi dezavantaj olabilme potansiyeli taşıyan özel-

likleri vardır. (Camilleri, 2020) Apeksifikasyon tedavisi genelde çocuk yaştaki hastalarda uygulandığı için aslında uzun sertleşme süresi ve seans sayısı çokluğu önemli dezavantajlardır. Üstelik bazı özel durumlarda da sedasyon veya genel anestezi gerektiren durumlarda tedavinin tek seansta tamamlanması gerekmektedir. (Chung, 2019) MTA'ya alternatif olarak birçok materyal üretilmiş ve hala da üretilmektedir. Bunlardan bir örnek olarak Biodentine, 2010 yılında MTA'nın bu dezavantajlarını mümkün olduğu kadar ortadan kaldırmaya yönelik piyasaya sürülmüştür. İddia edildiği üzere Biodentine'in 12 dakikalık sertleşme süresi ve kullanım kolaylığı apeksifikasyon işleminin tek seansta yapılabilmesini mümkün kılmaktadır. (Camilleri, 2020) (Bachoo, 2013) MTA'nın bir diğer dezavantajlarından birisi de renkleşmeye sebep olabilmesidir. Biodentine'in bu durumda da estetik açıdan daha tatmin edici sonuçlar verdiği gösterilmektedir. (Santos JM, 2022) Aynı zamanda Biodentine'in farklı bir özelliği de dentin ile materyal arasında hidroksiapatit kristalleri oluşturarak çok üstün bir sızdırmazlık sağlayabilmesidir. (Sharma S, 2018)

Bir çalışmada Songtrakul ve arkadaşları tarafından, farklı bir apeksifikasyon yöntemi önerildi. Apikal bölgeye 3 mm kalınlığında rezorbe olabilen bir kollajen matriks yerleştirilmesi ve bunun üzerine MTA benzeri materyal ve gutta percha ile kanal dolgusunun yapılması araştırıldı. Yaptıkları çalışmada kök uzunluğunda, duvar kalınlığında, apikalin kapanmasında ve pulpa benzeri dokuda artış gözlemlenmişlerdir. Bunun sebebi olarak da granülasyon dokusunun periapikal doku iyileşmesiyle birlikte kök hücre göçlerinin apikal bölgeye de ulaşarak kök gelişimine destek olması olarak göstermişlerdir. (Songtrakul K, 2020) Buna benzer mantıkla apeksifikasyon işleminde MTA'dan önce PRF uygulayarak da başarısızlık şansını düşürmenin mümkün olduğu farklı çalışmalarda gözlenmiştir. (Yadav P, 2015)

3) Perforasyonların Yönetiminde

3.A) İatrojenik Sebeplerle Perfore Olmuş Dişlerde

Perforasyon tamirinin amacı, kalıcı bir enflamasyon veya periodontal ataşman kaybı olmadan perforasyon bölgesindeki sağlıklı diş ve periodontal doku sağlığını korumaktır. Oluşmuş olan bir doku kaybı var ise o bölgedeki sağlıklı dokunun tekrar oluşmasını sağlamaktır. Buna bağlı olarak da perforasyon tamir başarısı, perforasyonu kapatmadaki ve periodontal ligamanın sağlıklı bir şekilde yeniden oluşma potansiyeliyle ilişkilendirilebilir. (Pitt Ford, 1995) (Silva, 2019) Fuss ve Trope'un yapmış olduğu geçmiş dönemdeki çalışmada, perforasyon tamirinde perforasyonun üzerinden ne kadar zaman geçtiği, perforasyonun boyutu ve lokasyonu tedavinin başarısı ve prognozu üzerinde çok ciddi önem arz ettiği ifade edilmiştir. (Fuss, 1996) Perforasyon tedavisinin başarısı perforasyonun periodontal dokularla olan ilişkisiyle de

bağlantılıdır. Periodontal tutulum olduğu zaman ek tedaviler de gerekir ve başarı şansı düşmektedir. Oluşan perforasyon sondalama derinliği ve ataşman kaybıyla ilişkili değilse genellikle mümkün olan en kısa sürede cerrahi tedaviler uygulamadan tamir uygulanabilir. Fakat bir perforasyonun olduğu bölgede sondalama derinliğinde artış, ataşman kaybı ve epitelyal yıkım riski görülebiliyorsa ilgili bölgenin rejenerasyon şansı ciddi manada azalmaktadır ve konservatif yaklaşımların yetersiz kalma olasılığı yüksektir. Periodontal yıkımın dahil olduğu defektlerde, cerrahi veya cerrahi olmayan periodontal tedavi prosedürleri de gerekmektedir. (Pitt Ford, 1995) Ancak yakın zamanlardaki çalışmalarda MTA kullanımından önce ortaya konulan prognozu etkileyen faktörlerin artık geçmişte olduğu kadar önemli olmadığı gösterilmektedir. (Mente, 2014) Çoğu araştırmacı, materyallerin gelişmesiyle perforasyon boyutunun tedavi başarısı üzerinde pek fazla etkisi olmadığı yönünde kanaat getirmişlerdir. (Gorni, 2016) (Krupp, 2013) (Pontius, 2013) Ek olarak operasyonu gerçekleştirecek hekimin tecrübesi, izolasyon ve büyütme kullanımının tedavi sonucu üzerinde etkili olduğu gösterilmiştir. (Mente, 2014)

Kök perforasyonlarını tamir etmek amacıyla geçmişte pek çok materyal denenmiştir. Bunlardan bazıları; amalgam, çinko oksit ojenol simanı, kalsiyum hidroksit, Super-EBA, cam iyonomer simanı, kompozit, IRM gibi... Ancak bunlardan hiçbiri sağlıklı doku yapısını tekrar oluşturmak, iyileşme sağlamak için elverişli bir ortam sunmamış ve başarısız sonuçlar vermiştir. Bunun sebebi olarak da bu materyallerin ağız ortamıyla perforasyon altında kalan dokuların arasını iyi kapatamaması ve biyoyumluğunun yetersiz olması olarak gösterilebilir. (Bryan, 1999) (Balla, 1991)

Çoğu materyalin bağlanma direnci, çevre dokular kaynaklı nem kontaminasyonu ile ciddi anlamda azalmaktadır. Ancak MTA'nın sertleşmesi için ortamda nem gereklidir. Bu sebeple MTA sertleştiğinde doku sıvıları varlığında optimal bağlanma gücü elde ederek üstün bir sızdırmazlık sağlanabilir. (Torabinejad M, 1995) MTA'nın biyoyumluluğu ve osteo-konduksiyon özelliği sayesinde yüzeyinde sementum birikimiyle sementoblastların bölgede gelişmesine olanak sağlar. (Holland, 2007) MTA perforasyon alanından taşması halinde de olumsuz etkilerin olmaması bu özelliklerden kaynaklanmaktadır. Siew ve arkadaşlarının yaptığı meta-analiz çalışmasında MTA kullanılarak yapılan perforasyon tamir işlemlerinin diğer materyallere kıyasla daha yüksek başarı oranı elde edildiği görülmüştür. Cerrahi yapılmadan onarım işlemlerinde MTA kullanıldığında %81 oranında başarı oranı sağlandığı bildirilmiştir. (Siew, 2015)

Biyoaktif materyallerin kullanımıyla ilgili araştırmalarda perforasyon onarımı için kullanılabilecek malzeme seçenekleri gün geçtikçe artmaktadır. Yeni üretilen biyoaktif materyaller MTA'ya benzer sonuçlar ortaya koysa da bu konuda net bir kaniya varmak için daha fazla çalışma yapıl-

ması gerekmektedir. (Z. Wang, 2015)

Perforasyon krestal kemiğin altındaysa, MTA çoğu durumda tercih edilmektedir. Ancak MTA'nın da dezavantajları vardır ve farklı materyaller göz önünde bulundurulmalıdır. MTA'nın 3 saate kadar olan sertleşme süresi bir dezavantajdır. Ağız boşluğuyla ilişkili bir perforasyon tamirinde MTA'nın çevreden gelen sıvılarla birlikte yıkanarak çıkma ihtimali vardır. Bu tarz durumlarda sertleşme süresi daha kısa olan biyoaktif materyallere, reçine içerikli cam iyonomer veya kompozitlere yönelinebilir. MTA'nın bir diğer dezavantajı da renkleşmeye sebep olabilmesidir, estetik olarak sorun yaratabilir. (Bortoluzzi, 2007) (Mozyńska, 2017) Biodentine, BC Endosequence RRM gibi diğer biyoaktif materyallerin renkleşme potansiyeli daha düşüktür. (Kohli, 2015)

Kan kontaminasyonu söz konusu olduğu zaman Biodentine'in bağlanma direncinin MTA'dan daha zayıf olduğu bildirilmiştir. Üstün ve ark. yaptığı çalışmada kan kontaminasyonunun furkasyon perforasyonlu alt molar dişlerde tamir materyallerinin bağlanmalarına etkileri araştırılmıştır. Sonuçlar MTA'nın bağlanma kabiliyetinin korunduğu ancak Biodentine'in ise zayıf bağlanma gösterdiğini ortaya koymuştur. (Üstün Y, 2015) Oysa ki, Biodentine daha küçük partikül boyutuna bağlı olarak kan kontaminasyonu olmadığı durumlarda MTA'ya kıyasla daha üstün bağlanma direnci sergiler. (A. M. Guneser MB, Eldeniz AU. , 2013)

Aggarwal ve ark. yaptığı bir çalışmada Biodentine'in mikrosızdırmazlık özelliğinin ProRoot MTA ve MTA Plus materyallerine göre daha yüksek kapasitede olduğu gösterilmiştir. Bunun sebebi olarak da Biodentine'in su içeriğini azaltmak için polikarboksilat esaslı hidro-çözünür bir polimer yapıya sahip olması ve sertleşmeyi hızlandırmak için de kalsiyum klorür içermesi öne sürülmektedir. (Aggarwal V, 2013) Biodentine'in bir diğer üstün olarak göze çarpan özelliği ise diş ile Biodentine arasındaki boşluğu en aza indiren kalsiyum fosfat açısından zengin kristal yapılar oluşturarak kemomekanik olarak bağlanmasıdır. (Pathak S, 2015)

Aslında pek çok materyalin üstün olarak ortaya çıkan özelliği çalışmalarda gösterilse de, MTA günümüzde yeterli sayıda klinik çalışma olmaması sebebiyle özellikle kan kontaminasyonu gibi karmaşık durumlar için en uygun materyal olarak düşünülebilir. Diğer materyaller için daha fazla klinik çalışma yapılması gerekmektedir. (X. Wang et al., 2023)

3.B) İnternal(İç) Kök Rezorpsiyonlu Perfore Dişlerin Tedavisinde

İnternal kök rezorpsiyonu odontoblastik ve mineralleşmemiş predentin tabakasının hasar almasıyla başlar ve pulpa dokusunun doğrudan dentin duvarıyla temasına bağlı olarak odontoklastların ilgili bölgeye göç

etmesiyle kanal içerisinde kök duvarlarının rezorpsiyonuyla seyreder. Bu süreç bazen özellikle alveolar kemik içi kök kırığı iyileşmelerinde başlangıç aşamasında geçici ve kendi kendini sınırlayıcı şekilde gelişebilir. Bu duruma iç yüzey veya iç tünel rezorpsiyonu adı verilmektedir ve bu lezyonlar endodontik girişim yapılmadan da iyileşebilir. (F. M. A. Andreasen, J.O. (1988) 1988) (Krastl, 2021)

Çoğu zaman internal kök rezorpsiyonları ilerleyici yıkıcı olarak seyreder ve iki alt gruba ayrılabilir. Bunlar; enflamatuvar(enfeksiyona bağlı) ve replasman (yer değiştirme) internal kök rezorpsiyonlarıdır. Enflamatuvar kök rezorpsiyonu intraradiküler dentin rezorpsiyonunu içerir ve yalnızca granülasyon dokusundan oluşur. Nekrotik kuronal pulpanın içerdiği bakteriler ile uyarılır ve apikaldeki vital pulpa tarafından desteklenir. Dış bir şekilde canlılığını kaybederse rezorpsiyonun ilerlemesinin duracağı bildirilmiştir. (Wedenberg, 1987) Replasman iç kök rezorpsiyonu ise defekt içindeki granülasyon dokusu ve kemik benzeri metaplastik sert dokunun karışımı olarak görülmektedir. (Patel, 2010)

İç kök rezorpsiyonunun tedavisi yapılmazsa ilerleyen süreçte kökün perfore olması veya kırılması beklenilmektedir. Bu dişler klinik olarak genellikle asemptomatiktir ancak bazı durumlarda pulpitis semptomları da gözlemlenebilir. Ek olarak renkleşme, sinüs yolu oluşumu, perküsyon ve palpasyonda hassasiyet de eşlik edebilmektedir. Radyografide belirgin yuvarlak veya oval bir görüntü şeklinde ayırt edilebilmektedir. (Lyroudia KM, 2002) (Haapasalo M, 2006) Rezorpsiyon bölgesindeki dentin tübülleri, çürükler, çatlaklar ve aksesuar kanallar yoluyla bakteriler pulpaya erişebilirler. Bu durumda lateral ve periodontal lezyon görülür, tüm kanal sistemi enfekte olduğunda ise apikal periodontitis seyretmektedir. Enfekte pulpa nekroz olduğunda veya zamanında müdahale ile uzaklaştırıldığında rezorpsiyon süreci de sona erer. (Çalışkan, 1997)

İç kök rezorpsiyonu teşhis edildiğinde, dişin prognozu düşünülerek karar alınmalıdır. Eğer diş restore edilebilir ve başarılı sonuç alınacağı düşünülüyorsa kök kanal tedavisi uygulanmalıdır. Burada amaç rezorpsiyonu destekleyen tüm vital pulpa dokusunu ve nekrotik kuronal kısmı temizlemek, dezenfekte etmek ve tıkama sağlamaktır. (ESE, 2006) Periapikal filmler rezorpsiyonu teşhis etmemize yardımcı olabilir ancak boyut, lokasyon ve perforasyon kontrolü için CBCT alınması faydalı olmaktadır. (Patel S, 2007)

Tedavisinde klinisyeni kanalın preperasyonu ve doldurulması esnasında çeşitli zorluklar beklemektedir. Mümkün olduğu kadar sağlam doku koruyabilmek adına konservatif girişimler yapılmalıdır. (Tay., 2010) Kullanılan enstrümanlar ve irrigasyon sıvılarındaki gelişmelere

rağmen kanal içerisindeki kompleks morfolojilere erişmek ve temizlemek zorlayıcı olabilmektedir. Ultrasonik cihazların kanal içi aktivasyon için kullanılması, ulaşılması zor bölgelerdeki artıkların ve biyofilmin temizlenmesinde ciddi fayda sağladığı gösterilmiştir. İç kök rezorpsiyonlu dişlerde de irrigasyon sıvılarının ultrasonik aktivasyonu önemli bir aşama olarak görülmektedir. (Burleson A, 2007) Perforasyon büyük boyutta olduğu vakalarda ise sodyum hipokloritin çevre dokulara taşması riski göz önünde bulundurularak düşük konsantrasyonlarda kullanılmalı veya klorheksidin ve salin gibi irrigasyon solüsyonlarından faydalanılması düşünülmelidir. (Haapasalo M, 2006) İrrigasyon prosedürlerine ek olarak rezorpsiyon alanının dezenfeksiyonu için kanal içi antibakteriyel medikamanlar da kullanılmalıdır. Kalsiyum hidroksit, kemomekanik temizlikten sonra kalan bakterileri yok etmek için kullanılabilir etkilili bir medikamandır ve aynı zamanda sodyum hipoklorit ile birlikte kullanıldığında organik debris uzaklaştırmada sinerjistik bir etki görülmektedir. (Türkün M, 1997) Kalsiyum hidroksitin çözünürlük ve çevre doku tarafından inaktif olması gibi çeşitli kısıtlamalarına rağmen, rezorpsiyon defektinin dezenfeksiyonunu güçlendirmek için birden fazla seans kalsiyum hidroksit pansumanı uygulanması önerilmektedir. (Ricucci D, 2008)

Kanalın dezenfeksiyon işlemlerinden sonra ise yeniden enfeksiyon gelişmesini önlemek amacıyla kalan boşluğu doldurmak ve tıkamak gerekmektedir. Rezorbe alanı doldurabilmek için kanal dolgu maddesi akışkan olmalıdır. Gutta-percha bu konuda en çok kullanılan materyaldir. Gencoglu ve ark. yapmış olduğu çalışmada, MicroSeal ve Obtura 2 termoplastik gutta-percha tekniklerinin; ThermaFill, Soft-Core sistemleri ve soğuk lateral kondensasyon tekniklerine kıyasla anlamlı şekilde üstün olduğu bildirilmiştir. (Gencoglu N, 2008)

Rezorpsiyonun perforasyona yol açtığı veya duvarı çok incelttiği durumlarda ise MTA gibi biyoaktif materyaller kullanılarak tıkama işlemi yapılmalıdır. (Priyalakshmi S, 2014) Bunun yanında hibrit kanal dolgu tekniği de düşünülebilir. Bu teknikte rezorbe alanın altında kalan apikal kısım gutta percha ile rezorpsiyon alanı ise biyoaktif bir materyalle tıkanabilmektedir. (Jacobovitz, 2008) Perforasyonun ortograd yollarla kontrol edilemediği durumlarda ise cerrahi yaklaşım tercih edilebilir. Cerrahi tedavi yapılmadan önce, kanala erişilmeli ve cerrahi sırasında kanalın istenmeyen şekilde bloke olmaması adına şekillendirmeye uygun bir gutta-percha ile kapatılmalıdır. Daha sonra perforasyon bölgesi cerrahi olarak açığa çıkarılmalı ve biyoaktif bir materyal ile tamir işlemi yapılmalıdır. Cerrahi işleminden sonra da kök kanal sistemi dezenfekte edilip kanal dolgu yapılmalıdır. (Main, 2004)

4) Rejeneratif Endodontik Tedavi Prosedürlerinde

Pulpa ve periradiküler patolojiler çürük, travma veya diş anomalilerinden gelişebilen klinikte sık karşılaşılan durumlardır. Kanal tedavisi, kök gelişimi tamamlanmış dişlerde olağanüstü klinik sonuçlar veren pulpa ve periradiküler patolojilerin yönetimi için uygulanan bir tedavi seçeneğidir. Apeksifikasyon işlemi ise nekroz pulpalı gelişimi tamamlanmamış kalıcı dişlerde kullanılan geleneksel bir tedavi yöntemidir. (Al Ansary, 2009) (Witherspoon, 2008) Endodontik tedavilerin amacı pulpal ve periradiküler enfeksiyon ve enflamasyonu ortadan kaldırmak ve dişlerin sağlığını korumaktır. Ancak bu tedavi prosedürleri pulpa ve bir miktar dentin dokularını temizleyerek dentinin dayanaklılığını, immün yanıtları ve proprioseptif fonksiyonları olumsuz yönde etkilemektedir. (Tang, 2010) (Al Amri, 2016) Bu sebeple çağdaş endodontide pulpanın sağlığını yeniden yapılandırmak ve dişlerdeki biyolojik fonksiyonları onarmak temel hedef haline gelmiştir.

Nygaard-Østby 1960'larda ilk kez pulpa dokusunun rejenerasyonu kavramını ortaya atmış ve rejeneratif endodonti alanının temelini oluşturmuştur. (Nygaard-Ostby, 1966) Iwaya ve ark. 2001 yılında revaskülarizasyon prosedürlerini kullanarak apikal periodontitis teşhisli gelişimi tamamlanmamış bir dişte, kök gelişimini indüklemeyi ve pulpanın duyarlılığını kazandırmayı başarmışlardır. (Iwaya, 2001) Banchs ve Trope, 2004 yılında yaptığı bir çalışmada doku rejenerasyonu için kanal dezenfeksiyonundan sonra matris olarak bir kan pıhtısı oluşturma ve bakteri kontaminasyonu engellemek için de mikrosızdırmaz bir bariyer ile kuronal tıkaç oluşturma yaparak modifiye edilmiş bir revaskülarizasyon protokolü uyguladığı bir vakayı bildirmişlerdir. Bu çalışmayla rejeneratif endodontik tedavilerin klinik olarak kanıt sunulmuştur. (Banchs, 2004)

Rejeneratif endodonti prosedürlerinin başarı oranı %83,3 ile %100 arasında raporlanmıştır. Başarısızlıkların ana faktörleri de yetersiz enfeksiyon kontrolü ve tedavi sonrası gelişen kök rezorpsiyonlarıdır. Enfeksiyonun yetersiz kontrol edilmesinin nedenlerinden biri rejeneratif endodontik prosedürlerinde doku sağlamlığını korumak için azaltılmış mekanik temizlik yapılması ve bunun da bakteri biyofilminin dentin tübüllerinde kalmasına bağlı olarak sürekli bir enfeksiyon gelişmesine neden olmasıdır. Bir diğer neden ise kuronal kısmın yeteri kadar tıkanamamasıdır. Bu durum, ağız ortamındaki mikroorganizmaların kök kanal sistemine dahil olarak, tekrar enfeksiyon gelişmesine yol açar. Buna bağlı olarak da kök hücrelerin farklılaşması ve çoğalması engellenerek kök gelişimi olumsuz etkilenir ve periapikal lezyonlar da iyileşmemektedir. (Wei X, 2022)

MTA mükemmel biyouyumluluğu ve sızdırmazlık özellikleri sayesinde rejeneratif endodontik prosedürlerde kuronal bölgeyi tıkamak için yaygın olarak kullanılmaktadır. MTA bu özellikleri sayesinde çürük ve pulpitis sebebiyle periapikal inflamasyonu tedavisine ek olarak rejeneratif prosedürleriyle birlikte kullanılmasıyla da karmaşık kök kırıklı vakalarda ve perforasyonlu kök rezorpsiyonlarının tedavisinde de etkili olabilmektedir. (John A, 2019) (Chanotis A, 2014)

MTA'nın biyolojik avantajlarına rağmen dezavantajları da mevcuttur. Kan pıhtısının üzerine MTA uygulanması teknik olarak zorlayıcıdır ve kondensasyon sırasında malzemenin apikale doğru yer değiştirmesine neden olabilmektedir. Bunun yanında sertleşme süresinin uzun olması kompozit restorasyonun sonraki randevuda yapılmasına ve tedavi sonrası renk değişikliğine yol açabilmektedir. (Timmerman A, 2017) MTA'nın en büyük dezavantajı renk değişimine sebep olabilesidir. Bu problemi ortadan kaldırmak için MTA'nın çıkarılması ve kompozit ile restore etmek gerekmektedir ancak bu da daha fazla randevu gereksinimi oluşturmaktadır. (D'Mello G, 2017) Renkleşme ihtimalinin söz konusu olduğu ve estetik ihtiyaçların olduğu durumlarda MTA yerine kullanılabilecek pek çok biyoaktif materyal de mevcuttur. Bunlardan bazıları; Biodentine, EndoSequence BC RRM-Fast Set Putty vb. materyallerdir. (Wei X, 2022)

Biodentine uygulama kolaylığı sağlayan kıvamı, düşük sitotoksitesi, daha az renk değişimine sebep olması, daha kısa sertleşme süresi ve kondensasyon sırasında apikale doğru yer değiştirmemesi gibi özellikleri sebebiyle rejeneratif prosedürlerde MTA yerine tercih edilmesi düşünülebilir. (Ambu E, 2020) Yapılan kontrollü klinik bir çalışmada MTA ve Biodentine'in rejeneratif endodontik prosedürlerdeki etkinlikleri kıyaslanmış; kök gelişimi, ağrı ve semptom oluşumu açısından anlamlı fark bulunamamıştır. Fakat, Biodentine'in çok daha az renk değişimine sebep olduğu bildirilmiştir. (Aly MM, 2018)

Yapılan çalışmalarda gösterildiği üzere sahip oldukları üstün biyouyumluluk, bioaktivite ve tıkama özellikleri sebebiyle hem MTA hem Biodentine rejeneratif prosedürlerde kullanılabilmektedir. Ancak Biodentine'in MTA'ya kıyasla daha iyi estetik sonuçlar verdiği görülmüştür. Buna ek olarak bu materyaller büyüme faktörleriyle birlikte kullanıldığında daha iyi klinik sonuçlar vermektedir. (Bakhtiar H, 2017)

5) Retrograd Kök Ucu Dolgu Materyali Olarak

Apikal periodontitisin en sık görülen sebebi bakteriyel enfeksiyondur. Apikal lezyonun iyileşip iyileşmeyeceğinin belirlenmesindeki en önemli faktör, ilgili bölgedeki bakterilerin varlığını kontrol edebilmekte geçer. Geleneksel kanal tedavisi prosedürleri zaman zaman enfeksiyon kontro-

lünde başarısız olabilmektedir ve apikal cerrahi düşünülebilir. Endodontik apikal cerrahi işlemlerinde kanal dezenfeksiyonuna dirençli mikroorganizmaların biyofilm halinde bulunduğu enfekte kök ucunun keserek çıkartılması felsefesi esas alınır. (Noiri Y, 2002) Kök ucu rezeksiyonuyla birlikte kökteki anatomik farklılıkları, rezorbe olmuş alanları, perforasyon defektlerini, basamakları, tıkanıklıkları ve alet kırıklarını ortamdaki uzaklaştırma imkanı elde edilebilmektedir. Apikal 3 mm'lik bölgenin rezeke edilmesi, periradiküler hastalıkların çoğuna sebep olan apikal dallanmaların ve lateral kanalların %95'in üzerinde temizlenebilmesine olanak sağladığı gösterilmiştir. (Kim S, 2006)

Endodontik cerrahinin bir diğer amacı da kök ucunun rezeksiyonunu takiben kök kanalının temizlenmesi, hazırlanması ve kanal boşluğunda kalan mikroorganizma ve ürünlerinin periradiküler bölgeye taşmasını önlemek amacıyla apikal tıkaç oluşturulmasıdır. Yalnızca kök ucunu kesmek bu hedefi gerçekleştirmez çünkü endodontik cerrahinin asıl amacı periradiküler bölgenin bakteri kontaminasyonunu ortadan kaldırmak ve rejenerasyonuna ortam hazırlamaktır. Retrograd dolgu, kökün apikal bölgesinde açılan kaviteye yerleştirilen dolgudur. Bu işlemle kök kanalının sıkı bir şekilde tıkanması veya mevcut tıkanmanın artırılması amaçlanır. (Torabinejad, 2009)

Retrograd dolgu materyalleri, periradiküler dokularla doğrudan temas halinde olduğundan çevre dokuyla olan etkileşimlerini bilmek de son derece önem arz etmektedir. İdeal bir retrograd dolgu materyali üç temel özelliğe sahip olmalıdır:

1- Malzeme biyoyumlu olmalıdır. Toksik, iritan, aşındırıcı olmamalı ve renk değişikliğine sebep olmamalıdır. Buna ek olarak periodonsiyumun yenilenmesine teşvik etmeli aynı zamanda antimikrobiyal özelliğe sahip olmalıdır.

2- Pulpal ve periradiküler dokular arası bağlantıyı tamamen kesecek şekilde tıkayıcı olmalıdır. Sertleşmesi sırasında nemden ve doku sıvılarından olumsuz etkilenmemesi gerekmektedir.

3- Yıkılarak çıkma riskini en azda tutmak için kolay uygulanabilir ve kısa sertleşme süresi olmalıdır. Ayrıca tedavinin sonuçlarını ve takibini gözlemleyebilmek için radyopak olmalıdır. (Priyanka, 2013)

Endodontik cerrahi tarihi boyunca restoratif amaçlı kullanılan pek çok materyal retrograd dolgu maddesi olarak kullanılmıştır. Bunlardan bazıları; amalgam, cam iyonomer, polikarboksilat simanlar, kompozit reçineler, Super-EBA, IRM, altın yaprak, gutta-perka ve MTA'dır. (Saxena, 2013)

Son yıllarda çok sayıda in vivo ve in vitro çalışmada MTA retrograd dolgu maddesi olarak kullanılmış ve incelenmiştir. Bu çalışmaların büyük çoğunluğunda MTA'nın geleneksel dolgu materyallerine kıyasla anlamlı şekilde sızdırmazlık yeteneği, biyouyumluluğu ve doku rejenerasyonu açısından üstün olduğu gösterilmiştir. Hücre kültürü ve sitotoksite çalışmalarında IRM, Super-EBA, cam iyonomer ve gutta perkaya kıyasla üstünlüğü gösterilmiştir. (Osorio, 1998) Bakteriyel sızdırma ve boya sızdırma çalışmalarında da MTA'nın amalgam, Super-EBA, IRM'ye göre daha az sızdırma oluşturduğu gösterilmiştir. (Fischer, 1998) Ancak MTA'nın uzun sertleşme süresi klinik açıdan bir endişe yaratabilir. Diğer materyallerle kıyaslandığında MTA'nın daha uzun süren bir sertleşme süreci vardır. MTA'nın başka bir dezavantajı da uygulamadaki zorluğudur. Steril suyla karıştırıldığında oluşan kumsu yapısı bölgeye ulaştırma ve yeterli miktarda kondanse edebilme açısından zorluk yaratmaktadır. (Kogan, 2006) MTA'nın da fiziksel ve kimyasal özelliklerini geliştirmek, biyoaktivite ve biyouyumluluğunu artırmak adına yeni nesil kalsiyum silikat esaslı materyaller geliştirilmiş ve çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan bazılarını; Biodentine, BioAggregate, Calcium Enriched Mixture Cement (CEM), Endosequence Root Repair Material Putty/Paste, iRoot BP Plus Root Repair Material olarak örneklendirebiliriz.

Yeni nesil biyoaktif materyallerden Biodentine için üretici firma tarafından MTA'ya benzer mekanik özellikler ve dentine benzer mekanik özelliklere sahip olduğu iddia edilmektedir. Sızdırmazlığı oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Sertleşme süresi MTA'ya göre daha kısadır ve renkleşme problemi yoktur. (Caron G, 2014) Aynı zamanda MTA içeriğinde radyoopasiteyi artırıcı olarak kullanılan bizmut oksit, poroziteye sebep vermekte ve zaman içerisinde mekanik direnci düşürmektedir. Biodentine bizmut oksit içermeyen yapısıyla bu sorunun önüne geçmek için üretilmiş bir ajandır. (Saber EA, 2022)

Bunun yanında son zamanlarda macun veya pasta kıvamında üretilen materyaller de geliştirilmiştir. Bu malzemeler uygulama açısından kolaylıklar sağlamaktadır. Bunlardan ERRM uygulandıktan sonra MTA ile benzer fizikokimyasal özellikler göstermektedir. (Walsh, 2014) Ek olarak yapılan pek çok in vitro çalışmada Biodentine, ERRM, BioAggregate, CEM, ve iRoot BP Plus'ın MTA ile benzer sızdırmazlık yeteneği sergilediği ortaya konmuştur. (Abusrewil SM, 2018) Ayrıca tüm biyoaktif materyaller biyouyumlu olup hayvan çalışmalarında periradiküler doku rejenerasyonunu ve insan hücre farklılaşmasını indüklediği gösterilmektedir ve bu malzemelerin kritik düzeyde sitotoksik özelliği bulunmamaktadır. (Kohout, 2015) (De-Deus, 2012) (Escobar-Garcia, 2016)

Kaynakça

- Abusrewil SM, M. W., Scott JA. . (2018). The use of Bioceramics as root-end filling materials in periradicular surgery: A literature review. *Saudi Dent J.* 2018 Oct;30(4):273-282.
- Aggarwal V, S. M., Miglani S, et al. . (2013). Comparative evaluation of push-out bond strength of ProRoot MTA, Biodentine, and MTA Plus in furcation perforation repair. *J Conserv Dent* 2013;16:462–465. DOI: 10.4103/0972-0707.117504.
- Al-Hiyasat AS, B.-N. K., Al-Omari MA. (2006). The radiographic outcomes of direct pulp-capping procedures performed by dental students. *J Am Dent Assoc* 137:1699–1705.
- Al Amri, M. D. e. a. (2016). Fracture resistance of endodontically treated mandibular first molars with conservative access cavity and different restorative techniques: an in vitro study. *Aust. Endod. J.* 42, 124–131 (2016).
- Al Ansary, M. A., Day, P. F., Duggal, M. S. & Brunton, P. A. . (2009). Interventions for treating traumatized necrotic immature permanent anterior teeth: inducing a calcific barrier & root strengthening. *Dent. Traumatol.* 25, 367–379 (2009).
- Aly MM. (2018). Clinical and radiographic evaluation of biodentine and mineral trioxide aggregate in revascularization of non- vital immature permanent anterior teeth (randomized clinical study). *Int J Clin Pediatr Dent.* 2018;29(4):464–73.
- Ambu E, e. a. (2020). Regenerative endodontics procedure of an immature permanent mandibular molar with a necrotic pulp using biodentine: a 16 months radiographic follow-up. *J Biol Regul Homeost Agents.* 2020;34(1 Suppl 1):33–7.
- Andreasen, F. M. A., J.O. (1988) (1988). Resorption and mineralization processes following root fracture of permanent incisors. *Endodontics & Dental Traumatology*, 4, 202–214.
- Andreasen, J. O. F., B.; Munksgaard, E.C. . (2002). Long-term calcium hydroxide as a root canal dressing may increase risk of root fracture. . *Dent. Traumatol.* 2002, 18, 134–137.
- Asawaworarit W, Y. P., Kijssamanmith K, Vongsavan N. . (2016). Comparison of the apical sealing ability of calcium silicate-based sealer and resin-based sealer using the fluid-filtration technique. *Med Princ Pract* 2016;25:561–565.
- Bachoo, I. K. S., D.; Brunton, P. . (2013). A biocompatible and bioactive replacement for dentine: Is this a reality? The properties and uses of a novel calcium-based cement. . *Br. Dent. J.* 2013, 214, E5.
- Bakhtiar H, e. a. (2017). Second-generation platelet concentrate (platelet-rich fibrin) as a Scaffold in regenerative endodontics: a case series. *J Endod.* 2017;43(3):401–8.
- Balla, R., LoMonaco, C.J., Skribner, J. & Lin, L.M. . (1991). Histological study of furcation perforations treated with tricalcium phosphate,

- hydroxylapatite, amalgam, and life. . *Journal of Endodontics*, 17, 234– 238.
- Ballullaya SV, V. V., Thumu J, Devalla S, Bollu IP, Balla S. . (2017). Stereomicroscopic dye leakage measurement of six different root canal sealers. *J Clin Diagn Res* 2017;11:ZC65–ZC68.
- Banchs, F. T., M. . (2004). Revascularization of immature permanent teeth with apical periodontitis: new treatment protocol? *J. Endod.* 30, 196–200 (2004).
- Binnie, W. H. R., A. . (1973). A Histological Study of the Periapical Tissues of Incompletely Formed Pulpless Teeth Filled with Calcium Hydroxide. . *J. Dent. Res.* 1973, 52, 1110–1116.
- Bortoluzzi, E. A., Araujo, G.S., Guerreiro Tanomaru, J.M. & Tanomaru-Filho, M. (2007) (2007). Marginal gingiva discoloration by gray MTA: a case report. *Journal of Endodontics*, 33, 325– 327.
- Brizuela C, e. a. (2017). Direct pulp capping with calcium hydroxide, mineral trioxide aggregate, and biodentine in permanent young teeth with caries: a randomized clinical trial. *J Endod.* 2017;43(11):1776–80.
- Bryan, E. B., Woollard, G. & Mitchell, W.C. . (1999). Nonsurgical repair of furcal perforations: a literature review. . *General Dentistry*, 47, 274– 278.
- Burleson A, N. J., Reader A, Beck M. . (2007). The in vivo evaluation of hand/ rotary/ ultrasound instrumentation in necrotic, human mandibular molars. *J Endod* 2007; 33:782–7.
- C.D. Fong, M. J. D., , . (2002). Partial pulpotomy for immature permanent teeth, its present and future. *Pediatr. Dent.* 24 (2002) 29-32.
- Caicedo R, e. a. (2006). Clinical, radiographic and histological analysis of the effects of mineral trioxide aggregate used in direct pulp capping and pulpotomies of primary teeth. *Aust Dent J.* 2006;51(4):297–305.
- Caliskan, M. K. (1995). Pulpotomy of carious vital teeth with periapical involvement. *International Endodontic Journal*, 28, 172–176.
- Calışkan, M. K. T., M. (1997) (1997). Prognosis of permanent teeth with internal resorption: a clinical review. *Endodontics & Dental Traumatology*, 13, 75–81.
- Camilleri, J. (2020). Current Classification of Bioceramic Materials in Endodontics. . In *Bioceramic Materials in Clinical Endodontics*; Springer: Cham, Switzerland, 2020; pp. 1–6.
- Caplan DJ, C. J., Yin G, et al. (2005). Root canal filled versus nonroot canal filled teeth: a retrospective comparison of survival times. *J Public Health Dent* 65:90–96.
- Caron G, e. a. (2014). Use of a new retrograde filling material (biodentine) for endodontic surgery: two case reports. *Int J Oral Sci.* 2014;6(4):250–3.
- Chaniotis A. (2014). The use of MTA/blood mixture to induce hard tissue healing in a root fractured maxillary central incisor. case report and treatment considerations. *Int Endod J.* 2014;47(10):989–99.

- Chung, S. H. C., K.A.; Kim, H.-Y.; Kim, Y.-S.; Chang, J. . (2019). Periapical Healing in Single-visit Endodontics under General Anesthesia in Special Needs Patients. . J. Endod. 2019, 45, 116–122.
- CM., N. (1960). The development of the permanent teeth. . J Dent Child. 1960; 27: 254–266.
- Cox, C. F. S., R.K.; Ostro, E.; Suzuki, S.; Suzuki, S.H. . (1996). Tunnel defects in dentin bridges: Their formation following direct pulp capping. Oper. Dent. 1996, 21, 4–11.
- D.E. Witherspoon. (2008). Vital pulp therapy with new materials: new directions and treatment perspectives--permanent teeth. J. Endod. 34 (2008) S25–28.
- D'Mello G, M. L. (2017). Management of coronal discolouration following a regenerative endodontic procedure in a maxillary incisor. Aust Dent J. 2017;62(1):111–6.
- De-Deus, G., Canabarro, A., Alves, G., Marins, J., Linhares, A., Granjeiro, J., 2012. . (2012). Cytocompatibility of the ready-to-use bioceramic putty repair cement iRoot BP Plus with primary human osteoblasts. Int. Endod. J. 45 (6), 508–513.
- de Souza Costa CA, H. J., Hanks CT (2000). Current status of pulp capping with dentin adhesive systems: a review. Dent Mater 16:188–197.
- Duncan, H. F., Galler, K.M., Tomson, P.L., Simon, S., El-Karim, I., Kundzina, R. et al. . (2019). European society of endodontology position statement: management of deep caries and the exposed pulp. International Endodontic Journal, 52, 923–934.
- Duncan, H. F. G., K.M.; Tomson, P.L.; Simon, S.; El-Karim, I.; Kundzina, R.; Krastl, G.; Dammaschke, T.; Fransson, H.; Markvart, M.; et al. . (2019). European Society of Endodontology position statement: Management of deep caries and the exposed pulp. Int. Endod. J. 2019, 52, 923–934.
- Ersev, H. Y., B.; Dinçol, M.E.; Dağlaroğlu, R. . (2012). The efficacy of ProTaper Universal rotary retreatment instrumentation to remove single gutta-percha cones cemented with several endodontic sealers. Int. Endod. J. 2012, 45, 756–762.
- Escobar-Garcia, D. M., Aguirre-Lopez, E., Mendez-Gonzalez, V., Pozos-Guillen, A., 2016. . (2016). Cytotoxicity and Initial Biocompatibility of Endodontic Biomaterials (MTA and Biodentine™) Used as Root-End Filling Materials. BioMed Res. Int., 1–7.
- ESE. (2006). Quality guidelines for endodontic treatment: consensus report of the European Society of Endodontology. Int Endod J 2006;39: 921–30.
- Farsi N, e. a. (2006). Clinical assessment of mineral trioxide aggregate (MTA) as direct pulp capping in young permanent teeth. J Clin Pediatr Dent. 2006;31(2):72–6.
- Fava, L. R. G. S., W.P. . (1999). Calcium hydroxide pastes: Classification and clinical indications. Int. Endod. J. 1999, 32, 257–282.
- Felippe, M. C. S. F., W.T.; Marques, M.M.; Antoniazzi, J.H. . (2005). The effect of the renewal of calcium hydroxide paste on the apexification and periapical

- healing of teeth with incomplete root formation. . *Int. Endod. J.* 2005, 38, 436–442.
- Fischer, E. J., Arens, D.E., Miller, C.H., (1998). 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.* 24 (3), 176–179.
- Ford T, T. M., Abedi H, Bakland L, Kariyawasam S.. (1996). Using mineral trioxide aggregate as a pulp-capping material. *J Am Dent Assoc* 1996; 127: 1491-1494.
- Fuss, Z. T., M. (1996) (1996). Root perforations: classification and treatment choices based on prognostic factors. . *Endodontics & Dental Traumatology*, 12, 255– 264.
- Gandolfi, M. G. S., F.; Botero, T.; Bossù, M.; Riccitiello, F.; Prati, C. . (2015). Calcium silicate and calcium hydroxide materials for pulp capping: Biointeractivity, porosity, solubility and bioactivity of current formulations. *J. Appl. Biomater. Funct. Mater.* 2015, 13, 41–60. .
- Gencoglu N, Y. T., Garip Y, Karagenc B, Yilmaz H. . (2008). Effectiveness of different gutta-percha techniques when filling experimental internal resorptive cavities. *Int Endod J* 2008;41:836–42.
- Giuliani V, e. a. (2002). The use of MTA in teeth with necrotic pulps and open apices. . *Dent Traumatol.* 2002;18(4):217–21.
- Gokcek M, B. E. H. (2016). VİTAL PULPA TEDAVİLERİNDE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR. *J Dent Fac Atatürk Uni Supplement*: 14, Yıl: 2016, Sayfa : 118-129
- Gorni, F. G., Andreano, A., Ambrogi, F., Brambilla, E. & Gagliani, M. . (2016). Patient and clinical characteristics associated with primary healing of iatrogenic perforations after root canal treatment: results of a long-term Italian Study. . *Journal of Endodontics*, 42, 211– 215.
- Guneser MB, A. M., Eldeniz AU. . (2013). Effect of various endodontic irrigants on the push-out bond strength of biodentine and conventional root perforation repair materials. . *J Endod.* 2013;39(3):380–4.
- Guneser MB, A. M., Eldeniz AU. . (2013). Effect of various endodontic irrigants on the push-out bond strength of biodentine and conventional root perforation repair materials. *J Endod.* 2013;39(3):380–4.
- Haapasalo M, E. U. (2006). Internal inflammatory root resorption: the unknown resorption of the tooth. *Endodontic topics.* 2006;14(1):60-79.
- Hargreaves, K. M. B., L.H. . (2016). *Cohen's Pathways of the Pulp*, 11th ed.; Elsevier: Saint Louis, MO, USA, 2016; pp. 913–951.
- Hilton, T. J. (2009). Keys to Clinical Success with Pulp Capping: A Review of the Literature. *Oper. Dent.* 2009, 34, 615–625.
- Holland, R., Bisco Ferreira, L., de Souza, V., Otoboni Filho, J.A., Murata, S.S. & Dezan, E. . (2007). Reaction of the lateral periodontium of dogs' teeth to contaminated and noncon-taminated perforations filled with mineral trioxide aggregate. . *Journal of Endodontics*, 33, 1192– 1197.

- Hoseinifar R, e. a. (2020). Histological evaluation of human pulp response to direct Pulp capping with MTA, CEM cement, and biodentine. *J Dent.* 2020;21(3):177–83.
- Iwaya, S. I., Ikawa, M. & Kubota, M. . (2001). Revascularization of an immature permanent tooth with apical periodontitis and sinus tract. *Dent. Traumatol.* 17, 185–187 (2001).
- Jacobovitz, M. d. L., R.K. (2008) (2008). Treatment of inflammatory internal root resorption with mineral trioxide aggregate: a case report. *International Endodontic Journal*, 41, 905–912.
- Ji M, e. a. (2022). An in vitro evaluation of antimicrobial activity of a fast-setting endodontic material. *Sci Rep.* 2022;12(1):16021.
- John A, A. H., Shetty P, Shetty S. . (2019). Revascularization of an immature permanent central incisor with complicated crown root fracture: a case report. *Int J Clin Pediatr Dent.* 2019;12(1):59–63.
- Kang, C.-M. S., Yeji; Song, Je Seon; Pang, Nan-Sim; Roh, Byoung-Duck; Lee, Chan-Young; Shin, Yooseok (2016). . (2016). A randomized controlled trial of various MTA materials for partial pulpotomy in permanent teeth. *Journal of Dentistry*, (), S0300571216301427.
- Kim, H. K., E.; Lee, S.-J.; Shin, S.-J. . (2015). Comparisons of the Retreatment Efficacy of Calcium Silicate and Epoxy Resin–based Sealers and Residual Sealer in Dentinal Tubules. *J. Endod.* 2015, 41, 2025–2030.
- Kim, J. R. N., A.; Fouad, A.F. . (2015). Interfacial characteristics of Biodentine and MTA with dentine in simulated body fluid. *J. Dent.* 2015, 43, 241–247.
- Kim S, K. S. (2006). Modern endodontic surgery concepts and practice: A review. *J Endod.* 2006;32:601–23.
- Kogan P, H. J., Glickman GN, Watanabe I. . (2006). The effects of various additives on setting properties of MTA. *J Endod* 2006; 32: 569–572.
- Kogan, P., He, J., Glickman, G.N., Watanabe, I.,. (2006). The effects of various additives on setting properties of MTA. *J. Endod.* 32 (6), 569–572.
- Kohli, M. R., Yamaguchi, M., Setzer, F.C. & Karabucak, B. . (2015). Spectrophotometric analysis of coronal tooth discoloration induced by various bioceramic cements and other endodontic materials. *Journal of Endodontics*, 41, 1862– 1866.
- Kohout, G. D., He, J., Primus, C.M., Opperman, L.A., Woodmansey, K.F.,. (2015). Comparison of Quick-Set and Mineral Trioxide Aggregate root-end fillings for the regeneration of apical tissues in dogs. *J. Endod.* 41 (2), 248–252.
- Komabayashi, T., Zhu, Q., Eberhart, R., & Imai, Y. (2016). Current status of direct pulp-capping materials for permanent teeth. *Dental Materials Journal*, 35(1), 1-12. doi:10.4012/dmj.2015-013
- Krastl, G., Weiger, R., Filippi, A., van Waes, H., Ebeleseder, K., Ree, M. et al. (2021). Endodontic management of traumatized permanent teeth: a comprehensive review. *International Endodontic Journal*, 54, 1221–1245.
- Krupp, C., Bargholz, C., Brüsehaber, M. & Hülsmann, M. . (2013). Treatment

outcome after repair of root perforations with mineral trioxide aggregate: a retrospective evaluation of 90 teeth. *Journal of Endodontics*, 39, 1364–1368.

Kunert M, e. a. (2022). The cytotoxicity and genotoxicity of bioactive dental materials. *Cells*. 2022;11(20):3238.

Lee, J. K. K., S.W.; Ha, J.-H.; Lee, W.; Kim, H.-C. . (2017). Physicochemical Properties of Epoxy Resin-Based and Bioceramic-Based Root Canal Sealers. *Bioinorg. Chem. Appl.* 2017, 2017, 1–8.

Lim, M. J., C.; Shin, D.-H.; Cho, Y.-B.; Song, M. . (2020). Calcium silicate-based root canal sealers: A literature review. *Restor. Dent. Endod.* 2020, 45, e35.

Lyroutdia KM, D. V., Pantelidou OC, Labrianidis T, Pitas IK. . (2002). Internal root resorption studied by radiography, stereomicroscope, scanning electron microscope and computerized 3D reconstructive method. *Dent Traumatol.* 2002;18(3):148-152. .

Main, C., Mirzayan, N., Shabahang, S. & Torabinejad, M. (2004) (2004). Repair of root perforations using mineral trioxide aggregate: a long-term study. *Journal of Endodontics*, 30, 80–83.

Mendes, A. T. D. S., P.B.; S6, B.B.; Hashizume, L.N.; Vivan, R.R.; Da Rosa, R.A.; Duarte, M.A.H.; S6, M.V.R. . (2018). Evaluation of Physicochemical Properties of New Calcium Silicate-Based Sealer. *Braz. Dent. J.* 2018, 29, 536–540.

Mente, J., Leo, M., Panagidis, D., Saure, D. & Pfefferle, T. . (2014). Treatment outcome of mineral trioxide aggregate: repair of root perforations-long-term results. *Journal of Endodontics*, 40, 790–796.

Mickenausch, S. Y., V.; Banerjee, A. . (2010). Pulp response to resin-modified glass ionomer and calcium hydroxide cements in deep cavities: A quantitative systematic review. *Dent. Mater.* 2010, 26, 761–770.

Możnyńska, J., Metlerski, M., Lipski, M. & Nowicka, A. (2017) (2017). A tooth discoloration induced by different calcium silicate-based cements: a systematic review of in vitro studies. *Journal of Endodontics*, 43, 1593–1601.

Noiri Y, E. A., Kawahara T, Takemura N, Ebisu S. . (2002). Participation of bacterial biofilms in refractory and chronic periapical periodontitis. *J Endod.* 2002;28:679–83.

Nowicka A, e. a. (2015). Tomographic evaluation of reparative dentin formation after direct pulp capping with $\text{Ca}(\text{OH})_2$, MTA, Biodentine, and dentin bonding system in human teeth. *J Endod.* 2015;41(8):1234–40.

Nygaard-Ostby, B. (1966). Mortal or vital treatment of the inflamed pulp? *SSO Schweiz Monatsschr Zahnheilkd.* 76, 545–551 (1966).

Osorio, R. M., Hefti, A., Vertucci, F.J., Shawley, A.L., 1998. . (1998). Cytotoxicity of endodontic materials. *J. Endod.* 24 (2), 91–96.

Öncel Torun Z, e. a. (2015). Effects of iRoot BP and white mineral trioxide aggregate on cell viability and the expression of genes associated with mineralization. *Int Endod J.* 2015;48(10):986–93.

- Parinyaprom N, e. a. (2018). Outcomes of direct pulp capping by using either ProRoot mineral trioxide aggregate or biodentine in permanent teeth with carious pulp exposure in 6- to 18-year-old patients: a randomized controlled trial. . J Endod. 2018;44(3):341–8.
- Parirokh M, T. M., Dummer PMH. . (2018). Mineral trioxide aggregate and other bioactive endodontic cements: an updated overview - part I: vital pulp therapy. Int Endod J. 2018;51(2):177–205.
- Patel S, D. A., Ford TP, Whaites E. . (2007). The potential applications of cone beam computed tomography in the management of endodontic problems. Int Endod J. 2007;40(10):818–830. .
- Patel, S., Ricucci, D., Durak, C. & Tay, F. (2010) (2010). Internal root resorption: a review. Journal of Endodontics, 36, 1107–1121.
- Pathak S. (2015). Comparative evaluation of sealing ability of root end filling materials: an In-Vitro Study. Int J Dent Med Res 2015;1(5):48–52.
- Pawar SS, P. M., Makandar SD. . (2014). Evaluation of the apical sealing ability of bioceramic sealer, AH plus & epiphany: an in vitro study. J Conserv Dent 2014;17:579–582.
- Pitt Ford, T. R., Torabinejad, M., McKendry, D.J., Hong, C.U. & Kariyawasam, S.P. . (1995). Use of mineral trioxide aggregate for repair of furcal perforations. . Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics, 79, 756– 763.
- Pontius, V., Pontius, O., Braun, A., Frankenberger, R. & Roggendorf, M.J. (2013). Retrospective evaluation of perforation repairs in 6 private practices. . Journal of Endodontics, 39, 1346– 1358.
- Priyalakshmi S, R. M. (2014). Review on Biodentine-a bioactive dentin substitute. J Dent Med Sci. 2014;13(1):51–7. .
- Priyanka, S., Veronica, A.,. (2013). A literature review of root-end filling materials. IOSR J. Dent. Med. Sci. 9 (4), 20–25.
- Ranly DM, G.-G. F. (2000). Current and potential pulp therapies for primary and young permanent teeth. J Dent; 28(3):153–61. . 2000.
- Ricucci D, S. J. J. (2008). Anatomical and microbiological challenges to achieving success with endodontic treatment: a case report. J Endod 2008;34:1249–54.
- Rossi-Fedele, G. A., H.M.A. (2017). Assessment of Root Canal Filling Removal Effectiveness Using Micro-computed Tomography: A Systematic Review. J. Endod. 2017, 43, 520–526.
- Saberi EA, e. a. (2022). Assessment of cytotoxicity and odontogenic/osteogenic differentiation potential of nano-dentine cement against stem cells from apical papilla. Cell J. 2022;24(11):637–46.
- Santos JM, e. a. (2022). Long-term outcome of nonvital immature permanent teeth treated with apexification and corono-radicular adhesive restoration: a case series. . J Endod. 2022;48(9):1191–9.
- Saxena, P., Gupta, S.K., Newaskar, V., 2013. . (2013). Biocompatibility of root-end filling materials: recent update. Restorative Dentistry Endod. 38 (3),

119–127.

- Schwendicke F, B. F., Schwendicke A, Paris S. . (2016). Different materials for direct pulp capping: systematic review and meta-analysis and trial sequential analysis. *Clin Oral Investig.* 2016 Jul;20(6):1121-32. doi: 10.1007/s00784-016-1802-7. Epub 2016 Apr 2. PMID: 27037567.
- Sharma S, e. a. (2018). Large periapical or cystic lesions in association with roots having open apices managed nonsurgically using 1-step apexification based on platelet-rich fibrin matrix and biodentine apical barrier: a case series. *J Endod.* 2018;44(1):179–85.
- Sheehy, E. C. R., G.J. . (1997). Use of calcium hydroxide for apical barrier formation and healing in non-vital immature permanent teeth: A review. . *Br. Dent. J.* 1997, 183, 241–246.
- Siew, K., Lee, A.H.C. & Cheung, G.S.P. . (2015). Treatment outcome of repaired root perforation: a systematic review and meta- analysis. *Journal of Endodontics*, 41, 1795– 1804.
- Silva Almeida, L. H. M., R.R.; Morgental, R.D.; Pappen, F.G. . (2017). Are Premixed Calcium Silicate–based Endodontic Sealers Comparable to Conventional Materials? A Systematic Review of In Vitro Studies. *J. Endod.* 2017, 43, 527–535.
- Silva, R. A. B., Borges, A.T.N., Hernández-Gatón, P., de Queiroz, A.M., Arzate, H., Romualdo, P.C. et al. . (2019). Histopathological, his-toenzymological, immunohistochemical and immunofluorescence analysis of tissue response to sealing materials after furcation perforation. *International Endodontic Journal*, 52, 1489– 1500.
- Simsek, N. K., A.; Ahmetoglu, F.; Ocak, M.S.; Yologlu, S. . (2014). Comparison of different retreatment techniques and root canal sealers: A scanning electron microscopic study. *Braz. Oral Res.* 2014, 28, 1–7.
- Singh, G. G., I.; ElShamy, F.M.M.; Boreak, N.; Homeida, H.E. . (2016). In vitro comparison of antibacterial properties of bioceramic-based sealer, resin-based sealer and zinc oxide eugenol based sealer and two mineral trioxide aggregates. *Eur. J. Dent.* 2016, 10, 366–369.
- Songtrakul K, e. a. (2020). Modified apexification procedure for immature permanent teeth with a necrotic pulp/apical periodontitis: a case series. *J Endod.* 2020;46(1):116–23.
- Swarup, S. a. R., A. (2013). *Bioceramics in pediatric endodontics*. LAP LAMBERT Academic Publishing. .
- Tang, W., Wu, Y. & Smales, R. J. . (2010). Identifying and reducing risks for potential fractures in endodontically treated teeth. *J. Endod.* 36, 609–617 (2010).
- Tay., S. P. D. R. C. D. F. (2010). Internal Root Resorption: A Review. *Journal of Endodontics*, , 36(7), 0–1121. doi:10.1016/j.joen.2010.03.014
- Timmerman A, P. P. (2017). Delayed Root Development by Displaced Mineral Trioxide Aggregate after Regenerative Endodontics: A Case Report. *J Endod.* 2017;43(2):252 –6. .

- Torabinejad M, H. C., Pitt Ford TR, Kettering JD. . (1995). Antibacterial effects of some root end filling materials. . J Endod 1995; 21: 403-406.
- Torabinejad, M., Walton, R.E.,. (2009). Endodontics: Principles and Practice. Saunders.
- Trope M. (2010). Treatment of the immature tooth with a non-vital pulp and apical periodontitis. Dent Clin N Am. 2010; 54(2): 313-324.
- Trope, M. B., A.; Debelian, G. . (2015). Root Filling Materials and Techniques: Bioceramics a New Hope? Endod. Top. 2015, 32, 86-96.
- Türkün M, C. T. (1997). The effects of sodium hypochlorite and calcium hydroxide on tissue dissolution and root canal cleanliness. Int Endod J 1997;30:335-42.
- Üstün Y, e. a. (2015). The effect of blood contamination on dislocation resistance of different endodontic reparative materials. J Oral Sci. 2015;57(3):185-90.
- Walsh, R. M., Woodmansey, K.F., Glickman, G.N., He, J.,. (2014). Evaluation of compressive strength of hydraulic silicate-based rootend filling materials. J. Endod. 40 (7), 969-972.
- Wang, X., Xiao, Y., Song, W., Ye, L., Yang, C., Xing, Y., & Yuan, Z. (2023). Clinical application of calcium silicate-based bioceramics in endodontics. Journal of Translational Medicine, 21(1). doi:10.1186/s12967-023-04550-4
- Wang, Z. (2015). Bioceramic materials in endodontics. Endodontic Topics, 32, 3- 30.
- Wedenberg, C. L., S. . (1987). Evidence for a resorption inhibitor in dentin. Scandinavian Journal of Dental Research, 95, 205-211.
- Wei X, Y. M., Yue L, Huang D, Zhou X, Wang X, Zhang Q, Qiu L, Huang Z, Wang H, Meng L, Li H, Chen W, Zou X, Ling J. . (2022). Expert consensus on regenerative endodontic procedures. Int J Oral Sci. 2022 Dec 1;14(1):55. doi: 10.1038/s41368-022-00206-z. PMID: 36450715; PMCID: PMC9712432.
- Witherspoon, D. E., Small, J. C., Regan, J. D. & Nunn, M. . (2008). Retrospective analysis of open apex teeth obturated with mineral trioxide aggregate. J. Endod. 34, 1171-1176 (2008).
- Yadav P, e. a. (2015). Novel use of platelet-rich fibrin matrix and MTA as an apical barrier in the management of a failed revascularization case. . Dent Traumatol. 2015;31(4):328-31.
- Youssef AR, e. a. (2019). Effects of mineral trioxide aggregate, calcium hydroxide, biodentine and emdogain on osteogenesis, odontogenesis, angiogenesis and cell viability of dental pulp stem cells. BMC Oral Health. 2019;19(1):133.
- Zhou, H. S., Y.; Zheng, W.; Li, L.; Zheng, Y.; Haapasalo, M. . (2013). Physical Properties of 5 Root Canal Sealers. J. Endod. 2013, 39, 1281-1286.
- Zordan-Bronzel, C. L. E. T., F.F.; Tanomaru-Filho, M.; Chávez-Andrade, G.M.; Bosso-Martelo, R.; Guerreiro-Tanomaru, J.M. . (2019). Evaluation of Physicochemical Properties of a New Calcium Silicate-based Sealer, Bio-C Sealer. J. Endod. 2019, 45, 1248-1252.

Bölüm 3

ENDODONTİDE KÖK KANAL DOLGU MATERYALLERİ VE OBTURASYON YÖNTEMLERİ

Ecem KARAKOYUNLU¹

¹ **Arş. Gör. Dt.** Çukurova Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim dalı, Adana, Türkiye. **ORCID 0009-0006-4654-8831**

Endodontik tedavi, enfekte diş pulpasının veya pulpa kalıntılarının uzaklaştırılmasını, kök kanalının kimyasal ve mekanik olarak hazırlanmasını ve ardından kök kanalının doldurulmasını içerir. Obturasyonun amacı, kök kanal sistemi içinde sıvı geçirmez bir kapama oluşturmak, bakteriyel girişi engellemek, temizlik ve şekillendirme sonrasında kalan mikroorganizmaları hapsederek, kök kanalında kalıcı enfeksiyon veya yeniden enfeksiyon oluşumunu önlemektir.

Klinik prosedür, kök kanal alanını şekillendiren bir dizi aletle kök kanalının mekanik olarak hazırlanmasını içerir. Bu süreç, sodyum hipoklorit gibi antimikrobiyal kimyasallar kullanılarak yapılan irrigasyon ile mikroplar yükünün kök kanal alanında azaltılmasına yardımcı olur. Ayrıca, etilen diamin tetraasetik asit gibi diğer çözücüler, mekanik debri-man sonrası geride kalan smear katmanını uzaklaştırır. Endodontik prosedür, kök kanal anatomisinin karmaşıklığı, mevcut enfeksiyon düzeyi ve klinisyenin teknik beceri veya deneyimine bağlı olarak tek bir seansta veya birden fazla seansta yapılabilir. Kök kanal dolgusunun yapılması, enfeksiyonun belirti ve semptomları geçtikten sonra gerçekleştirilir. Ardından yapılan restorasyon, koronal bir kapama sağlar ve hasta yönetiminin tamamlanması için obturasyon kadar önemli kabul edilir. Eğer koronal kapama yetersiz veya zamanla kaybolursa, diş kırığı, çürük veya travma nedeniyle, bu durum, başlangıçta başarılı olarak değerlendirilen tedavinin ardından kalıcı veya yeni bir endodontik hastalığın gelişmesine yol açabilir.(1)

Obturasyonun Amaçları

Kök kanal dolgusunun ilk belgelenmiş örneği, 1728 yılında Pierre Fauchard tarafından tanımlanmış olup, kök kanallarını kurşunla doldurmuştur. Birçok diğer tarihi materyalle birlikte gutta-perka (GP) ilk kez 1867'de Bowman tarafından tanıtılmıştır.(2) Tarihte, özellikle GP (gutta-perka) ve bir sealer siman kombinasyonu kullanarak, sıvı veya bakterilerin hareketini engellemeyi amaçlayan birçok teknik tanımlanmıştır. Kök kanal obturasyonu, endodontik tedavinin temel bir adımı olarak kabul edilse de, yalnızca kök kanal dezenfeksiyonunun ve yeterli kanal hazırlığının, kök kanal sistemindeki mikropların yükünü tatmin edici bir şekilde azaltması durumunda etkili olacaktır. Mekanik aletlerle yapılan enstrümantasyonun, kanal sisteminin yalnızca bir kısmına ulaşabildiği, kök kanal sisteminin %35-53'ünün yalnızca mekanik tekniklerle temizlenemediği gösterilmiştir.(3) Planktonik mikroorganizmaların, kök kanal alanının 27- veya 30-gauge irrigasyon iğnesi ile yapılan irrigasyonla etkili bir şekilde uzaklaştırılabileceği yaygın olarak kabul edilmektedir.(4,5) Kanal duvarlarındaki biyofilm ve isthmuslar, lateral kanallar ve apikal delta içinde bulunan mikroorganizmalar ise daha zorlayıcı olabilir. Bu

nedenle, apikal, lateral ve koronal olarak bir kapama (3D kapama olarak bilinen) yapılması gereklidir; bu, herhangi bir kalıntı organizmanın ve onların toksinlerinin periapikal dokulara erişimini engellemek ve bakteriyel büyüme ve hayatta kalmaya elverişsiz bir biyolojik ortam yaratarak periapikal iyileşmeyi desteklemek amacıyla önemlidir.(6) Bu bağlamda, kök kanal dolgusu, endodontik tedavinin sonucunda temel bir rol oynamaktadır.

Obturasyon Materyallerinin İdeal Özellikleri

Grossman, ideal bir obturasyon malzemesinin özelliklerini tanımlamıştır.(7) Klinik olarak mevcut olan hiçbir malzeme, ideal bir kök kanal dolgu malzemesi için belirlenen kriterleri tam anlamıyla karşılamamaktadır. GP (gutta-perka) ve bir sealer kombinasyonu birçok bu gereksinimi karşılarken, birçok sealer'in bir dezavantajı mikro sızıntıdır. Mikro sızıntı, sealer ile diş dokusu arasındaki ısı genleşme katsayısı farklarından, smear tabakasının varlığından, endodontik sealer'in kıvamı ve miktarından, malzemenin çözünürlüğünden veya obturasyonun yetersizliğinden kaynaklanabilir. Dolgulu kök kanalındaki mikro boşlukların varlığı, doku sıvılarının kök kanal alanına nüfuz etmesine olanak tanıyabilir. Bu transüdat, kan serumundan kaynaklanır. Serum bozulur ve periradiküler dokuya yayılır. Bu serum, kalan mikroorganizmalar ve onların endotoksinleriyle birlikte periradiküler inflamasyonu artırır ve nihayetinde tedavi başarısızlığına katkıda bulunabilir. Son zamanlarda, biyolojik özellikler, mikro sızıntı ile ilgili önceki endişeleri ortadan kaldırdığı görülen biyolojik aktif malzemeler olan hidrolik kalsiyum silikat simanlarının tanıtılmasıyla karşılanmıştır.(8)

Obturasyon Materyalleri

Gutta-perka

Diş hekimliğinde en yaygın kullanılan ana materyal olan Dental Gutta-perka (trans-poliprolen), şu bileşenlerden oluşmaktadır:

- **Trans-polyisopren** – %19–22
- **Çinko oksit** – %60–75
- **Metal sülfatlar** – %1.5–17
- **Mumlar/rezinler** – %1–4

Gutta-perka üç formda bulunur, bunlardan ikisi kristalin (α ve β) ve biri amorf formdadır. α -fazı, β -fazına göre daha az büzülür, daha düşük viskoziteye sahiptir ve oda sıcaklığında daha düşük stabiliteye sahiptir.

Obturasyon için kullanılan Gutta-perka konileri β formunda bulunur. 42–49 °C'ye ısıtıldığında, α fazına dönüşür ve amorf değişiklikler 68 °C'de meydana gelir.(9) Gutta-perka ısıyı iletmez, bu nedenle sıcak vertikal kompresyon prosedürlerinde ısıtıldığında, apikal bölgede sıcaklık, ısı taşıyıcısıyla temas eden daha koronal bölgelere göre her zaman daha düşüktür.(10) Gutta-perka soğuduğunda büzülür ve bu nedenle, gerekli optimum sızdırmazlığın sağlanabilmesi için tekniğe bağlıdır.(11)

Gutta-perka konuları standart ve standart dışı formlarda bulunur. **Standart (ISO)** konlar %2 taper'e sahip olup uç boyutları 015–140 arasında değişir. **Standart dışı** konlar ise 020 uç boyutuna sahip olup ekstra ince ile ekstra büyük arasında değişen boyutlarda olabilir. Birçok nikel-titanyum ege, eğelerin taper'ıyla uyumlu olan konlarla birlikte sunulmaktadır ve bu, kök kanalında daha iyi bir uyum sağlamayı amaçlar. Kon uyumu, sealere dayalı tekniklerde çok önemlidir, çünkü bu, kök kanalı içindeki sealer miktarını minimize eder, bu da tarihsel olarak obturasyonun 'zayıf halkası' olarak kabul edilmiştir.

Kök Kanalı Sealerları

Bir kök kanal sealerı, endodontik obturasyonda kullanılan ve boşlukları doldurmak, ana materyalle (örneğin, Gutta-perka) dentin duvarları arasındaki uyumu artırmak ve mikro sızdırmazlığı engellemek amacıyla kullanılan materyali ifade eder. Kök kanal sealerı, tüm obturasyon tekniklerinde kullanılır. Kimyasal yapıları ve özellikleri farklılık gösterdiği için, sealerın belirli özelliklerini optimize etmek amacıyla kullanılması önerilir. Temel sealer kimyasalları şunlardır:

- Çinko oksit ojenol bazlı
- Rezin bazlı sealers
 - Epoksi rezin
 - Metil metakrilat rezin bazlı
- Hidrolik siman bazlı

Çinko oksit ojenol bazlı sealers, Grossman formülasyonuna dayanır ve genellikle toz ve sıvı formunda veya iki patlı sistemler olarak sunulur. Toz veya patlardan biri ana bileşen olarak çinko oksit içerir ve buna staybelite rezinsi ve bazı radyopak bileşenler (baryum sülfat ve bizmut subkarbonat) eklenir. Sıvı ve diğer pat ise ojenol içerir. Bu sealer türleri maliyet açısından etkili ve popüler olup, yüksek radyopak özellikleri sayesinde obturasyonların röntgenlerde oldukça iyi görünmesini sağlar. Ancak, bu materyallerin bazı dezavantajları vardır. Ojenol, rezinlerin sertleşmesini

engeller.(12) Bu, klinik bir problem oluşturur çünkü dentinal tübüllerdeki sealer kalıntıları, dişi restore etmek için kullanılan kompozit rezinlerin sertleşme reaksiyonunu etkileyebilir ve ayrıca postların simatasyonu için kullanılan rezin sistemleri etkileyebilir.(13) Ayrıca, çinko, hidrolik simanların sertleşmesini engeller.(14) Ojenol, bilinen bir tahriş edicidir ve apikalden taşan herhangi bir sealer, duyarlılığa yol açacaktır.(15) Çinko oksit ojenol bazlı sealers, sertleşme sırasında büzülür.(16,17) ve bu nedenle büyük hacimlerin kullanılması önerilmez. Bu nedenle, çinko oksit ojenol bazlı sealers, sıcak vertikal kompresyon teknikleri ile kullanılmak üzere önerilir; burada kullanılan sealer miktarı minimaldir ve düzgün bir şekilde uygulandığında sealer, ısı taşıyıcısı ile temas etmez çünkü ısıtıldığında çinko oksit ojenol bazlı sealers parçalanır.(18)

Rezin bazlı sealers, metil metakrilat veya epoksi rezine dayalı olabilir. Metakrilat bazlı sealer, Resilon (GP yerine kullanılabilir rezin bazlı bir materyal) ile ilişkilendirilmiştir ve klinik olarak herhangi bir sorun yaşanmamış olsa da, sistem, bildirilen başarısızlıklar nedeniyle durdurulmuştur. (19,20,21) Epoksi rezin bazlı sealers çok popülerdir ve kök kanal obturasyonu için altın standart olarak kabul edilir. Bunlardan biri AH Plus'tur (Dentsply, Tulsa, OK, ABD). AH Plus, iki pat veya iki kartuşla sunulan bir jet sistem olarak sunulur. Birinci pat (diepoksit) ve ikinci pat (1-adamantan amin, N,N-dibenzil-5-oxa-nonandaimin-1,9 ve TC-diamin) içerir. Her iki patda kalsiyum tungstat ve zirkonyum oksit radyopaklaştırıcı bileşenler bulunur. Radyopaklaştırıcı bileşen, sealerin varlığını gösterir ve homojen bir şekilde yerleştirildiğinde, boşluksuz ve iyi sıkıştırılmış bir obturasyon sağlar. AH Plus'un sertleşme süresi 24–48 saat arasında değişmektedir ve fiziksel özellikleri ISO 6876:2012 standartlarıyla uyumludur; çözünürlük oranı $<3\%$, akış oranı >17 mm ve film kalınlığı <50 μ m'dir.(22) AH Plus, zamanla stabil bir başlangıç genişlemesi gösterir.(16) Bu sealer, mikro-mekanik tutunma yoluyla dentine güçlü bir bağ kurar (23); bu bağlamda, smear tabakasının ve dentinal tübüllerin genişletilmesi için şelatlayıcı ajan kullanılması gereklidir. Epoksi zin bazlı sealer'lar, üstün yapıştırıcılık özellikleri gösterir ve aynı zamanda Gutta-perka konilerinin bir arada tutulmasına yardımcı olur. Bu sebeple, soğuk lateral kompresyon yöntemiyle obtüre edilen Gutta-perka obturasyonları için tercih edilen sealerlerdir. Antimikrobiyal özellikleri, metakrilat bazlı sealer'lar ile karşılaştırıldığında yeterli düzeydedir (24), ancak hidrolik siman bazlı sealer'lara kıyasla daha zayıf kalmaktadır. Bu nedenle, AH Plus kullanımı sırasında son irrigasyon çözeltisi olarak, Avrupa Endodonti Derneği (ESE) S3 kılavuzlarına (25) uygun olarak, kök kanal alanındaki bakteriyel yükü düşük tutmak amacıyla sodyum hipoklorit önerilmektedir. AH Plus'un toksisitesi, metakrilat rezinlere kıyasla daha düşüktür.(26) Bununla birlikte, AH Plus, sıcak vertikal kompresyon sırasında meydana gelen ısıl etkilere karşı dirençli değildir(18,27); bu sebeple, sea-

ler'in ısı ile teması önlenmelidir. Bu durum, klinik olarak genellikle kolayca kontrol edilebilir, çünkü ısı taşıyıcıları tipik olarak yalnızca Gutta-perka'yı ısıtarak, dentin ve sealer ile temas etmez.

Hidrolik Siman Bazlı Sealerlar

Hidrolik siman bazlı sealers, mineral triyoksit agregat (MTA) formülasyonuna dayanan ve materyallerin antimikrobiyal ve biyolojik özelliklerini artırmayı amaçlayan materyallerdir. Kalsiyum iyonları salma ve hidroksiapatit oluşumunu teşvik etme yetenekleri nedeniyle, bunlar 'bioaktif' kök kanal sealeri olarak büyük bir umut vaat ettiği söylenmektedir. Sadece suyla reaksiyona girerek sertleşen ve çevresel nem ile etkilere giren materyaller, hidrolik simanlar olarak sınıflandırılabilir.(28) Bu materyaller, karıştırılabilen toz ve sıvı formunda sunulur ve bir ince paslanmaz çelik alet (örneğin, DG16 probu) veya özel bir taşıma sistemi kullanılarak kök kanallarına uygulanır. Kağıt noktalar, sealerden nemi emebileceği için ideal taşıma sistemi olmayabilir.

Alternatif olarak, sealers, plastik uçlu tek bir şırıngada sunulmaktadır. Bu, taşımayı basitleştirir. Sealer yalnızca nemle temas ettiğinde sertleşebilir, bu nedenle dentinal tübüllerdeki nemin yeterli olup olmadığı ve sealere ulaşılıp ulaşılmadığı konusunda devam eden bir tartışma vardır. Bu sealer türleriyle en kesin olanı, şelatlayıcı ajanlar ile smear tabakasının giderilmesinin gerekliliğidir, çünkü bu, tübül oklüzyonunu ortadan kaldırır. Klinik uygulamada, bu sealers biyoseramikler olarak anılmaktadır. Bu, sealer'in kimyasının değişken olmasından ve kesin bileşimin isminin yakalanmamış olmasından dolayı bir dereceye kadar kafa karışıklığına yol açmaktadır.

Çoğu hidrolik siman bazlı sealer, hidrolik siman, bir radyopaklaştırmacı, sealer özelliklerini (akış ve film kalınlığı) artırmaya yardımcı olan katkı maddeleri ve bir taşıyıcıdan oluşur. Hidrolik siman bileşeninin miktarı ve kimyası oldukça değişkendir, bazı sealer'ların aktif bileşeni %15'ten az olup, çoğunlukla radyopaklaştırmacıdan oluştuğu bildirilmiştir.(29) Siman kimyasının ayrıca trikalsiyum silikat olduğu varsayılmaktadır, çünkü bu MTA formülasyonudur. Çeşitli hidrolik bazlı simanlar vardır ve sadece trikaliminyum silikatlar su ile etkileşerek kalsiyum hidroksit ve kalsiyum silikat hidratı üretir.(30) Radyopaklaştırmacılar, miktar olarak değişir40 ve kimya olarak, orijinal MTA formülasyonunda dişleri renk değiştiren bizmut oksit yerine en sık kullanılan zirkonyum oksit kullanılır ve bu nedenle kesinlikle kaçınılması gerekir.(30)

Obtürasyon Teknikleri

Obtürasyon teknikleri genel olarak soğuk veya sıcak teknikler olarak geniş bir şekilde sınıflandırılabilir.

Soğuk Teknikler

a)Soğuk lateral kondansasyon

b)Kalsiyum silikat sealer ile tek kon

Soğuk Lateral Kondansasyon

Bu teknik, sealer ile hafifçe kaplanmış bir kon yerleştirildikten sonra, spreader kullanılarak kanal duvarına doğru sıkıştırılmasını içerir. Bu işlem, daha sonra daha küçük bir GP konunun, ana kon ile birlikte, yerleştirilebilmesi için alan oluşturur. Bu süreç, alan kalmayana kadar tekrarlanır. Bu, en yaygın kullanılan kanal doldurma tekniğidir(31); ancak üç boyutlu bir sızdırmazlık sağlamaz. Bu tekniğin başlıca avantajı, kanal içine yerleştirilen gutta-perkanın kontrol edilebilir olması ve maliyet açısından ekonomik olmasıdır. Sonuçta elde edilen kanal dolgusu, birbirine sıkıca yerleştirilmiş çok sayıda gutta-perka konundan oluşur.

En önemli dezavantajı, son kondansasyonda oluşan boşluklar ve aralıklardır. Bu durum, yetersiz kondansasyon ya da kanal eğriliği gibi anatomik varyasyonlara bağlı olabilir.(32) Ayrıca, obtürasyon materyalinin sıkıştırılması sırasında oluşan kuvvetlerden dolayı dikey kök kırıkları oluşturma riski daha yüksektir.(33)

Kalsiyum Silikatlı Sealer ile Tek Kon

Bu teknikte, son şekillendirme eğesinin boyutuna uyumlu bir kon seçilir ve uyum kontrolü yapıldıktan sonra, kon dezenfekte edilip kurutulur. Kök kanalının koronal üçte ikisi, özel küçük çaplı uç kullanılarak hidrolik kalsiyum silikat sealer ile nazıkçe doldurulur ve kon, ölçülen uzunluğa yerleştirilir ve nazik bir pompalama hareketiyle kanala yerleştirilir. Bu işlem, sealer'ı kanalın apikal üçte birine taşır.

Sealer, yüksek akışkanlığı nedeniyle, tedavi sonrası radyografilerde lateral kanallar ve apikal anatomiye iyi bir şekilde penetre ettiği gözlemlenebilir, bu da iyi bir sızdırmazlık sağlar; ancak aynı zamanda periapikal dokulara da yayılabilir. Bu teknik, çok daha konservatif bir kanal hazırlığı sağlayan nikel-titanyum ege sistemleri tarafından tercih edilmektedir.

Tek kon obtürasyon tekniği, bir adet Gutta-perka (GP) konunun kullanıldığı ve geri kalan boşluğun sealer ile doldurulduğu sealer tabanlı bir tekniktir. Bu teknikte, sealer'ın özellikleri büyük önem taşır ve hidrolik siman bazlı sealers kullanılması önerilmektedir. Teknik, sadeliği ve özel ekipman gerektirmemesi nedeniyle oldukça popülerdir (34). Hidrolik simanlar, çevreleriyle etkileşime girdiklerinden, son irrigasyon çözeltisinin seçimi kritik bir rol oynamaktadır. Son irrigan olarak klorheksidin

kullanımı önerilmemektedir (35); en ideal irrigasyon protokolü, sodyum hipoklorit ile başlandıktan sonra etilen diamine tetraasetik asit (EDTA) gibi bir kalsiyum şelatörü ile devam edilmesi ve son durulama için suyun kullanılmasıdır. pH'yi düşüren çözümlerden kaçınılmalıdır, çünkü bu durum bakteriyel yeniden kolonizasyon riskini artırabilir.(36) Su, dentini yeterli şekilde nemlendirerek bırakırken, kalsiyum şelasyonu smear tabakasını ortadan kaldırarak sealer'ın dentinle daha iyi uyum sağlamasına yardımcı olur.

Sıcak Teknikler

a)Sıcak Lateral Kompaksiyon

Bu tekniğin ana avantajı, obtürasyon sürecinde uzunluğun kontrol edilebilmesidir. Ana kon yerleştirilir ve Endotec II uçları (Medidenta) ve EndoTwinn uçları (Hu-Friedy) gibi ısı taşıyıcıları kullanılarak lateral olarak sıkıştırılır.(37) Bu işlem, kanal tamamen doldurulana kadar tekrarlanır. Sıcak lateral kompaksiyon tekniği, soğuk lateral kompaksiyon tekniğinin dezavantajlarını ortadan kaldırmakla birlikte, kök kanal sisteminde daha az boşlukla daha homojen bir dolgu sağlar.(38) Bu teknik ayrıca yan kanal ve lateral kanalları doldururken de avantajlıdır ve maliyet açısından etkili olarak kabul edilir.(39)

b)Sıcak vertikal kompaksiyon

İlk olarak 1967 yılında Schilder tarafından tanımlanan bu teknik, Gutta-perka (GP) malzemesinin homojen bir kütle haline getirilmesini ve kanal duvarlarına sıkı bir şekilde adapte edilmesini, yan kanalları, istmusları ve apikal delta bölgesini sızdırmaz hale getirmeyi amaçlar. Bu yöntem, kalıcı mikroorganizmaların ve onların yan ürünlerinin periapikal dokulara erişimini engellemeyi hedefler.

Şekillendirilmiş kanala bir ana kon, sealer ile kaplanarak çalışma uzunluğunun 0.5–2 mm kısa bir mesafesinde yerleştirilir ve "tug back" (geri çekilme direnci) alınır. Koronal kısım ısı ile çıkarılır ve soğuk bir plugger kullanılarak yumuşayan GP apikal yönde sıkıştırılarak apikal sızdırmazlık sağlanır. Kanalin içine küçük bir pellet GP yerleştirilir ve ısı uygulanır. Ardından soğuk bir plugger ile yumuşayan GP apikal yönde sıkıştırılır ve hareket ettirilir. Bu işlem kanalın orta ve koronal üçüncülerinde de tekrarlanır.

Devamlı Dalga Kompaksiyon Tekniği

Bu teknik, Buchanan tarafından geliştirilmiştir. Kanalin hazırlanmasında konik nikel-titanyum sistemlerinin kullanılmasına olanak tanır. Sistem B, şekillendirme aletlerinin boyutuna göre #.06, #.08, #.10 ve

#12 paslanmaz çelik pluggerlarla uygulanır. Süreç, termoplastik enjeksiyon tekniği (Obtura II veya Ultrafil 3D \[Coltène/Whaledent], Calamus \[DENTSPLY Tulsa Dental Specialties], Elements \[SybronEndo, Orange, CA] veya HotShot \[Discus Dental, Culver City, CA]) kullanarak bırakılan boşlukları doldurmak için ısı taşıyıcı sistemini kullanır.

Downpack

Isıtılmış bir plugger, kök kanalına tam uyum sağlayacak şekilde seçilir ve çalışma uzunluğunun 5–7 mm kısa bir mesafeye yerleştirilir. Master kon, uyumu açısından kontrol edildikten sonra hafifçe sealer ile kaplanır ve kanala yerleştirilir. Isıtılmış plugger, 200 °C'ye ayarlanarak, master kon apikalde belirlenen uzunluğa kadar nazikçe itilerek yerleştirilir; bu işlem üç saniyeden fazla sürmemelidir. Isı, kısa bir süreliğine kaldırılır ve 10 saniye boyunca apikal yönde hafif bir basınç uygulanarak soğuma sonucu meydana gelen hacim kaybı dengelemeye çalışılır. Ardından, ısı kısa bir patlama şeklinde 1 saniye boyunca tekrar aktif hale getirilir ve plugger geri çekilir. Bu işlem, koronal GP'nin çıkmasına neden olur. Son olarak, düz bir plugger kullanılarak GP'nin apikal kısmı sıkıştırılır.

Backfill

Bu teknik için birçok cihaz kullanılmaktadır. Kanalın çapına bağlı olarak farklı ölçüde uçlar bulunur. Apikal Gutta-perka'ya ulaşan, çalışma uzunluğunun (WL) 5–7 mm kısa bir mesafeye yerleşebilen bir uç seçilmelidir. Önemli bir not olarak, cihazın ekranındaki sıcaklık 200 °C olarak görülmeye, uçların sıcaklıkları 100 °C'nin altındadır.(18) GP'nin dönüşüm sıcaklığı 65 °C'dir, (9,10,11) bu nedenle daha yüksek sıcaklıklara gerek yoktur ve bu, periodontal ligamentin ve alveolar kemiğin zarar görme riskini oluşturur.

Termoplastik Enjeksiyon Teknikleri

Bu teknikte, ısıtılmış gutta perka kök kanallarına enjekte edilir. Bu amaçla Obtura III, Calamus, Elements, HotShot ve Ultrafil 3D gibi cihazlar kullanılır.

Obtura III

Bu teknik, Obtura III (Obtura Spartan) kullanır; Obtura III, gutta perka 160-200°C arasında ısıtarak, gutta perka pelletlerinin çevrelediği bir odacığa ve ısıtma elemanına sahip bir tabanca ile çalışır.(40) Kanal duvarları kurutulup sealer ile kaplandıktan sonra, gutta perka, tabanca yardımıyla, çalışma uzunluğundan 3-5 mm kısa olacak şekilde 20, 23 veya 25 numara seçilmiş bir iğne ile enjekte edilir. İğnenin yavaşça geri çekilmesi, kanalın apikal kısmının dolgusunun tamamlanana kadar yapılır ve gutta

perka tıkanması plugger ile yapılır. Kalan kanal genellikle aynı işlemle aşamalı olarak doldurulur.

Sınırlamalar

Bir ana sınırlama, uzunluğun kontrol edilmesindeki zorluk nedeniyle aşırı uzamış veya eksik doldurulmuş kanal dolgularıdır. Lateral kompaksiyon ile Thermafil (DENTSPLY Tulsa Dental Specialties) ve Obtura II'yi kök kanal modelleri üzerinde karşılaştıran bir çalışmada, en iyi kanal duvarlarına uyumun Obtura II ile sağlandığı sonucuna varılmıştır.(41)

Ultrafil 3D

Bir diğer termoplastikleşmiş kompaksiyon tekniği Ultrafil 3D (Coltène/Whaledent) olup, ısıtma ünitesi, enjeksiyon şırıngası ve üç tür gutta perka kanülü içerir: düzenli set, sert set ve endoset. Kanül, uzunluğu 21 mm olan 22 numara paslanmaz çelik iğnelere sahiptir. İğnelerden çıkan gutta perka 45-60 saniye boyunca akabilir.

Calamus

Calamus termoplastik obtürasyon sistemi (DENTSPLY Tulsa Dental Specialties), 20 ve 23 numara iğneler bulunan kartuşlara sahip özel bir cihazdır. Sistem, sıcaklık kontrolü yapabilme ve akış hızını kontrol etme özelliklerine sahiptir. Bu ünitile kullanmak için farklı pluggerlar kullanılır.

Elements

Elements obtürasyon sistemi (SybronEndo), plastikleştirilmiş gutta perkayı iletmek için bir el aleti, Sistem B ısı kaynağı ve bir plugger içerir. Kartuşlar, gutta perka için 20-, 23- ve 25-numara iğnelere ve Real Seal için 20- ve 23-numara iğnelere sahiptir.

HotShot

Bir diğer termoplastik cihaz ise HotShot teslimat sistemidir (Discus Dental). Bu cihaz kablosuz olup, 150-230°C arasında ısı aralığına sahiptir ve hem gutta perka hem de Resilon ile kullanılabilir. 20, 23 ve 25 numara iğnelerden oluşur.

GuttaFlow

GuttaFlow (Coltène/Whaledent), gutta perka ile doldurulmuş polidimetilsiloksan matrisine sahiptir. Malzeme kapsüller halinde mevcuttur. Malzemenin çalışma süresi 15 dakikadır ve kürlenme süresi 25-30 dakikadır. Bazı çalışmalarda, sızdırmazlık yeteneği diğer tekniklerle karşılaştırılabilir görünürken, bazı çalışmalarda ise daha düşük olduğu belirtilmiştir.(42-45)

Taşıyıcı Gutta Perka Teknikleri

Thermafil, Profile GT Obturators, GT Series X Obturators ve Pro-Taper Universal Obturators

Bu teknik, alfa fazı gutta-percha ile kaplanmış bir plastik çekirdek taşıyıcısı olan thermafill prensibine dayanır. Farklı boyutlarda ve koni açıları arasında mevcut olup, hazırlanan kanalın boyutuna göre kullanılabilirler. Thermafill kullanımı, ısıtma için bir cihaz gerektirir.

Kanal kurutulduktan ve sealer duvarlara uygulandıktan sonra, doğrulanan ısıtılmış thermafil taşıyıcısı, radyografik onay sonrası kanalın içine yerleştirilir ve taşıyıcının koronal kısmı kesilir. Bu teknikte AH Plus gibi bir sealer kullanımı gereklidir.

Bu tekniğin avantajı, kolay yerleştirilmesi ve gutta perchanın yan ve aksesuar kanalları doldurabilmesidir. Ana dezavantajı ise uzunluğun kontrol edilmesinin zor olması ve postoperatif ağrıya yol açabilmesidir.

SimpliFill (LightSpeed Technology, San Antonio, TX/Discus Dental)

SimpliFill, LightSpeed aletleri ile kanal hazırlandıktan sonra kullanılan bir başka taşıyıcı bazlı bölgesel gutta-percha obtürasyon tekniğidir. Kanal duvarları AH Plus sealer ile kaplanır. Seçilen taşıyıcı, kök kanalını bölgesel olarak obtüre eder ve shaftı, gutta perchanın apikal kısmından saat yönünün tersine dönüşle ayrılır. Taşıyıcının boyutu, ana apikal dosyanın çapına göre belirlenir. Kalan kanal boşluğu, lateral veya termoplastikleşmiş gutta-percha teknikleriyle doldurulur. Bu, verimli bir tekniktir ve sızıntısı diğer tekniklerle aynıdır.(46)

Termomekanik Kompaksiyon

McSpadden kompaktörü (Şekil 14), tersine çevrilmiş bir Hedstrom eğesine benzeyen bir cihazdır ve kanal içine, sealer ile kaplanmış master koni ile birlikte yerleştirilir. Cihaz, 5.000–10.000 rpm hızla çalıştırılarak, çalışma uzunluğundan (WL) 3–4 mm kadar yakın bir mesafeye kadar ilerletilir. Oluşan sürtünme ısı, GP'yi ısıtır, plastikleştirir ve kanal duvarlarına doğru sıkıştırır. Bu teknik, dar ve kavisli kanallar için uygun değildir. Ayrıca, kompaktörlerin kanal içinde kırılma riski bulunmakta ve yumuşayan GP kolayca periapikal dokulara itilebilir. Ayrıca, kök kanalında oluşan yüksek sıcaklıkla ilgili bazı endişeler de bulunmaktadır.(47) Bu teknik, bazı endodontistler tarafından geçmişte kullanılmış olsa da, günümüzde kompaktörlerin ticari olarak temin edilememesi nedeniyle nadiren kullanılmaktadır.

Başarılı endodontik tedavi, tüm kanalların tespit edilmesi, etkili temizlik ve şekillendirme, kanalların dezenfeksiyonu ve kanalların üç boyutlu olarak sızdırmazlık sağlanarak kök kanalı ile periodonsiyum arasındaki tüm bağlantıların ortadan kaldırılmasını gerektirir. İyi bir sızdırmazlık, dışın iyi bir prognozunu sağlar. Araştırmalar, yetersiz obtürasyonun kanal boşluklarında mikroorganizma büyümesine ve yeniden enfeksiyona yol açtığını ortaya koymuştur.

Kök kanal sisteminin karmaşıklığı, kanalların tamamen sızdırmaz hale getirilmesi sürecini zorlaştırmaktadır. Kanal obtürasyonu için farklı malzemeler ve teknikler kullanılmıştır, ancak ideal dolgu, tamamen sıkıştırılmış olmalı, kanal duvarlarının şekline uyum sağlamalı ve periodonsiyum ile kök kanalı arasındaki birleşim noktasına kadar sızdırmazlık sağlamalıdır. Bu nedenle, bir kanalın obtüre edilmesinde kullanılan tekniğin, kanalın özelliklerine göre dikkatlice seçilmesi gerektiği sonucuna varılabilir.

REFERANSLAR

1. Ray H A, Trope M. Periapical status of endodontically treated teeth in relation to the technical quality of the root filling and the coronal restoration. *Int Endod J* 1995;28: 12–18.
2. Grossman L I. A brief history of endodontics. *J Endod* 1982; 8: 536–540.
3. Peters O A, Schönenberger K, Laib A. Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro co
4. Boutsoukakis C, Arias-Moliz M T. Present status and future directions – irrigants and irrigation methods. *Int Endod J* 2022; 55: 588–612.
5. Boutsoukakis C, Nova P G. Syringe irrigation in minimally shaped root canals using 3 endodontic needles: a computational fluid dynamics study. *J Endod* 2021; 47: 1487–1495.
6. Kirsten H M, Moorer W R. Particles and molecules in endodontic leakage. *Int Endod J* 1989; 22: 118–124.
7. Grossman L I, Oliet S, Del Rio C E. Endodontic practice. Philadelphia: Lea & Febiger, 1988.
8. Vula V, Stavileci M, Ajeti N, Vula V, Kuçi A, Meqa K. Evaluation of apical leakage after root canal obturation with glass ionomer, resin, and zinc oxide eugenol sealers combined with thermafil. *Med Sci Monit Basic Res* 2022; DOI: 10.12659/MSMBR.936675.
9. Schilder H, Goodman A, Aldrich W. The thermomechanical properties of gutta-percha. 3. Determination of phase transition temperatures for gutta-percha. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1974; 38:109–114.
10. Goodman A, Schilder H, Aldrich W. The thermomechanical properties of gutta-percha. Part IV. A thermal profile of the warm gutta-percha packing procedure. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1981; 51: 544–551.
11. Schilder H, Goodman A, Aldrich W. The thermomechanical properties of gutta-percha Part V. Volume changes in bulk gutta-percha as a function of temperature and its relationship to molecular phase tranformation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1985; 59: 285–296.
12. Garcia I M, Leitune V C, Ibrahim M S et al. Determining the effects of eugenol on the bond strength of resin- based restorative materials to dentin: a meta-analysis of the literature. *Appl Sci* 2020; 10: 1070.
13. Cecchin D, Farina A P, Souza M A, Carlini-Júnior B, Ferraz C C R. Effect of root canal sealers on bond strength of fibreglass posts cemented with self-adhesive resin cements. *Int Endod J* 2011; 44: 314–320.
14. Camilleri J. Scanning electron microscopic evaluation of the material interface of adjacent layers of dental materials. *Dent Mater* 2011; 27: 870–878.
15. Scelza M Z, Linhares A B, Da Silva L E, Granjeiro J M, Alves G G. A multiparametric assay to compare the cytotoxicity of endodontic sealers with primary human osteoblasts. *Int Endod J* 2012; 45: 12–18.
16. Ørstavik D, Nordahl I, Tibballs J E. Dimensional change following setting of root canal sealer materials. *Dent Mater* 2001; 17: 512–519.

17. Hammad M, Qualtrough A, Silikas N. Extended setting shrinkage behavior of endodontic sealers. *J Endod* 2008; 34: 90–93.
18. Atmeh A R, Hadis M, Camilleri J. Real-time chemical analysis of root filling materials with heating: guidelines for safe temperature levels. *Int Endod J* 2020; 53: 698–708.
19. Payne L A, Tawil P Z, Phillips C, Fouad A F. Resilon: assessment of degraded filling material in nonhealed cases. *J Endod* 2019; 45: 691–695.
20. Barborka B J, Woodmansey K F, Glickman G N, Schneiderman E, He J. Long-term clinical outcome of teeth obturated with Resilon. *J Endod* 2017; 43: 556–560.
21. Strange K A, Tawil P Z, Phillips C, Walia H D, Fouad A F. Long-term outcomes of endodontic treatment performed with resilon/epiphany. *J Endod* 2019; 45: 507–512
22. Zhou H-M, Shen Y, Zheng W, Li L, Zheng Y-F, Haapasalo M. Physical properties of 5 root canal sealers. *J Endod* 2013; 39: 1281–1286.
23. Viapiana R, Guerreiro-Tanomaru J, Tanomaru-Filho M, Camilleri J. Interface of dentine to root canal sealers. *J Dent* 2014; 42: 336–350.
24. Prestegaard H, Portenier I, Ørstavik D, Kayaoglu G, Haapasalo M, Endal U. Antibacterial activity of various root canal sealers and root-end filling materials in dentin blocks infected ex vivo with *Enterococcus faecalis*. *Acta Odontol Scand* 2014; 72: 970–976.
25. Duncan H F, Kirkevang L-L, Peters O A et al. Treatment of pulpal and apical disease: the European Society of Endodontology (ESE) S3-level clinical practice guideline. *Int Endod J* 2023; 56: 238–295.
26. Lodienė G, Morisbak E, Bruzell E, Ørstavik D. Toxicity evaluation of root canal sealers in vitro. *Int Endod J* 2008; 41: 72–77.
27. Camilleri J. Sealers and warm gutta-percha obturation techniques. *J Endod* 2015; 41: 72–78.
28. Camilleri J. Classification of hydraulic cements used in dentistry. *Front Dent Med* 2020; 1: 9.
29. Cardinali F, Camilleri J. A critical review of the material properties guiding the clinician's choice of root canal sealers. *Clin Oral Investig* 2023; 27: 4147–4155.
30. Camilleri J. Color stability of white mineral trioxide aggregate in contact with hypochlorite solution. *J Endod* 2014; 40: 436–440.
31. Clinton K, Van Himel T. Comparison of a warm Gutta-percha obturation technique and lateral condensation. *J Endod.* 2001;27(11):692–695.
32. Lea CS, Apicella MJ, Mines P, Yancich PP, Parker MH. Comparison of the obturation density of cold lateral compaction versus warm vertical compaction using the continuous wave of condensation technique. *J Endod.* 2005;31(1):37–39.
33. Gimlin D R, Parr C H, Aguirre-Ramirez G. A comparison of stresses produced during lateral and vertical condensation using engineering models. *J*

Endod 1986; 12: 235–241.

34. Guivarc'h M, Jeanneau C, Giraud T et al. An international survey on the use of calcium silicate-based sealers in non-surgical endodontic treatment. *Clin Oral Investig* 2020; 24: 417–424.
35. Kapralos V, Valen H, Koutroulis A, Camilleri J, Ørstavik D, Sunde P T. The dentine-sealer interface: modulation of antimicrobial effects by irrigation. *Int Endod J* 2022; 55: 544–560.
36. Arias-Moliz M, Camilleri J. The effect of the final irrigant on the antimicrobial activity of root canal sealers. *J Dent* 2016; 52: 30–36.
37. Togger M. Evaluation of the apical seal produced by a hybrid root canal filling method, combining lateral condensation and thermatic compaction. *JOE*, 1984;10:299.
38. Luccy CT, Norman Weller R, Kulild JC. An evaluation of the apical seal produced by lateral and warm lateral condensation techniques. *J Endod*. 1990;16(4):170–172.
39. Tomson RME, Polycarpou N, Tomson PL. Contemporary obturation of the root canal system. *Nat Publ Gr*. 2014;216:315-322.
40. Schäfer E, Schrenker C, Zupanc J, Bürklein S. Percentage of Gutta-percha Filled Areas in Canals Obturated with Cross-linked Gutta-percha Core-carrier Systems, Single-Cone and Lateral Compaction Technique. *J Endod*. 2016;42(2):294–298.
41. Weller RN, Kimbrough WF, Anderson RW: A comparison of thermoplastic obturation techniques: adaptation to the canal walls. *J Endod* 23:703, 1997.
42. Brackett MG, Martin R, Sword J, et al: Comparison of seal after obturation techniques using a polydimethylsiloxane based root canal sealer. *J Endod* 32:1188, 2006.
43. Holland R, de Souza V, Murata SS, et al: Healing process of dog dental pulp after pulpotomy and pulp covering with mineral trioxide aggregate or Portland cement. *Braz Dent J* 12:109, 2001.
44. Monticelli F, Sadek FT, Schuster GS, et al: Efficacy of two contemporary single-cone filling techniques in preventing bacterial leakage. *J Endod* 33:310, 2007.
45. Ozok AR, van der Sluis LW, Wu MK, Wesselink PR: Sealing ability of a new polydimethylsiloxane-based root canal filling material. *J Endod* 34:204, 2008.
46. Santos MD, Walker WA, III, Carnes DL, Jr: Evaluation of apical seal in straight canals after obturation using the Lightspeed sectional method. *J Endod* 25:609, 1999.
47. Saunders E M. In vivo findings associated with heat generation during thermomechanical compaction of gutta-percha. 2. Histological response to temperature elevation on the extern

Bölüm 4

ENDODONTİDE KIRIK ALETLERİN UZAKLAŞTIRILMASI

Züleyha BAŞ¹, Hüseyin GÜNDÜZ²

1 Arş. Gör., Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı, Orcid No: 0000-0002-0314-4101

2 Dr. Öğr. Üyesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı, Orcid No: 0000-0003-1580-3159

Giriş

Kök kanal sisteminde meydana gelen endodontik alet kırıkları, kanalın etkin bir şekilde temizlenmesini ve şekillendirilmesini engelleyerek tedavi başarısını olumsuz yönde etkiler (Spili ve ark., 2005). Nikel-titanyum (NiTi) döner aletlerin yaygınlaşması, paslanmaz çelik (SS) el aletlerine kıyasla daha sık kırılmalarına ve dolayısıyla alet kırığı insidansında artışa neden olmuştur (Gambarini, 2001). Literatürde, NiTi aletlerinin büyük çoğunluğunun döngüsel ve torsiyonel yorgunluk nedeniyle kırıldığı bildirilmektedir (Shen ve ark., 2009).

Alet Kırıklarının Nedenleri ve Mekanizmaları

Alet kırıklarını önlemenin en etkili yollarından biri, kullanılan aletlerin kanal içerisindeki hareket biçiminin değiştirilmesidir. Örneğin, NiTi döner aletlerin kanal içerisinde ileri geri hareketlerle kullanımı, döngüsel yorgunluğu anlamlı ölçüde azaltmaktadır (De-Deus ve ark., 2010; Karataş ve ark., 2016). Bununla birlikte, termal işlem uygulanmış NiTi alaşımlarından üretilen eğeler, geleneksel yöntemlerle üretilenlere kıyasla daha esnek olup döngüsel yorgunluğa karşı daha dayanıklıdır (Al-Hadlaq ve ark., 2010; Pereira ve ark., 2012).

Endodontik aletler iki ana mekanizma sonucunda kırılmaktadır. Döngüsel yorgunluk, eğimli bir kanal içinde alet dönerken meydana gelen tekrarlı gerilim ve kompresyon döngüleri sonucu oluşur. Torsiyonel yorgunluk ise genellikle eğe ucunun kanalda sıkışması sırasında sapın dönmeye devam etmesiyle ortaya çıkar ve bu durumda aletin elastik sınırının aşılmasıyla kırık gerçekleşir (Cheung, 2007; Yum ve ark., 2011).

Alet Çıkarma Başarısını Etkileyen Faktörler

Modern endodontik uygulamalarda dental operasyon mikroskobu (DOM) ve ultrasonik uçların kullanımı, minimal invaziv preparasyonlar yapmayı mümkün kılarak kırık aletlerin daha güvenli bir şekilde çıkarılmasını sağlamaktadır (Cujé ve ark., 2010; Fu ve ark., 2011). Kırık aletin kanal içinde görünebilir ve erişilebilir olması, çıkarma işleminin başarısında temel bir belirleyicidir (Nevares ve ark., 2012).

Çıkarma işleminin başarısı, kırık aletin kök kanalındaki yeri, görünürlüğü, uzunluğu, çapı ve tipi ile birlikte kanal eğriliği ve eğrilik yarıçapı gibi anatomik faktörlere bağlıdır. Ayrıca, bu süreçte operatörün klinik deneyimi ve işlem sırasındaki yorgunluğu da önemli rol oynamaktadır (Eleazer ve O'Connor, 1999; Gettleman ve ark., 1991; Terauchi ve ark., 2021). Arka dişler, özellikle mesiobukkal kanalları, karmaşık kök anatomilerine sahip olmaları nedeniyle bu tür işlemler için daha zordur. Görülebilir konumda bulunan kırık aletlerin çıkarılmasındaki başarı,

görünmeyenlere oranla neredeyse iki kat fazladır (Nevares ve ark., 2012).

Kanal Morfolojisi, Alet Lokalizasyonu ve Operatör Faktörleri

NiTi aletlerin en sık mandibular ve maksiller azı dişlerinin mesiobukkal kanallarında kırıldığı bildirilmektedir. Bu oranlar sırasıyla %47,5 ve %61,5 olarak raporlanmıştır (Wu ve ark., 2011). Alet kırıkları çoğunlukla kök kanalının apikal üçlüsünde meydana gelir (Iqbal ve ark., 2006; Wu ve ark., 2011). Kanal eğriliğinin konumuna göre çıkarma başarısı değişmektedir; eğriliğin koronalinde yer alan kırık aletlerin çıkarılma olasılığı yüksekken, eğrilik çevresinde ve apikalin ötesinde yer alan aletlerin çıkarılması daha zordur (Iqbal ve ark., 2006; Lopes ve ark., 2007).

Yüksek eğriliğe sahip kanallarda alet kırılma riski daha fazladır. Özellikle eğriliği 25°'nin üzerinde olan kanallar, 25°'nin altında olanlara kıyasla daha fazla kırık insidansı gösterir (Farid ve ark., 2013; Wu ve ark., 2011). Kanal eğriliği 20°'yi aştığında ise alet çıkarma başarısı ciddi oranda düşmektedir (Cujé ve ark., 2010; Shen ve ark., 2004). Buna karşılık, düşük eğriliğe sahip ve eğrilik yarıçapı 4 mm'nin üzerinde olan kanallarda başarı oranları artmaktadır (Alomairy, 2009; Estrela ve ark., 2008).

Aletin Uzunluğu ve İşlem Süresi

Kök kanalında kırılan aletlerin ortalama uzunluğu yaklaşık 3 mm'dir (Jiang ve ark., 2010). Daha uzun ve daha büyük çaplı aletlerin, kısa parçalara kıyasla çıkarılması daha fazla süre gerektirmekte ve daha geniş dentin uzaklaştırılması ihtiyacı doğurmaktadır (Wu ve ark., 2011). Kırık parçanın uzunluğu 3,1 mm'yi geçtiğinde ve kanal eğriliği 30°'nin üzerinde olduğunda, preparasyon ve çıkarma süresi belirgin biçimde artmaktadır (Fu ve ark., 2011). Özellikle 4,6–5,7 mm uzunluğundaki kırık aletler, kısa olanlara göre ultrasonik çıkarma işlemi sırasında en az iki kat daha fazla zaman almaktadır. Ancak 3 mm'den kısa alet parçaları, eğriliğe bağlı olmaksızın çoğunlukla yalnızca birkaç saniye içinde başarıyla çıkarılabilir (Terauchi ve ark., 2021).

İşlem süresi uzadıkça başarı oranı azalmaktadır. Bu nedenle, kırık alet çıkarma işleminin 45 ila 60 dakikayı geçmemesi önerilmektedir (Suter ve ark., 2005). Aksi takdirde, operatör yorgunluğu ve dentin kaybı gibi komplikasyon riski artar. Deneyimli operatörler, daha kısa sürede ve daha az doku kaybı ile bu işlemi tamamlayabilmekte, aynı zamanda iatrogenik zararları da en aza indirebilmektedir (Terauchi ve ark., 2007).

Alet Çıkarma Protokolleri

Kırık endodontik aletlerin uzaklaştırılmasında üç temel yaklaşım mevcuttur: mekanik, kimyasal ve cerrahi yöntemler. Cerrahi yöntemler

genellikle son tercih edilen seçenektir; çünkü invazivdirler ve özellikle kırık alet kanalın apikal ya da orta üçte birinde yer aldığında, kök ucu rezeksiyonunu içeren ve önemli miktarda dentin kaybına yol açan işlemler gerektirir. Ancak, kırık alet apikal foramenin ötesine geçerek kök dışına çıkmışsa, cerrahi yöntem ilk sırada değerlendirilmelidir.

Kimyasal çıkarma işlemleri, kırık metalik aleti aşındırmak amacıyla iyot triklorür, nitrik asit, hidroklorik asit, sülfürik asit, iyot kristalleri ve demir klorür çözeltisi gibi çeşitli solventlerin kullanımını içerir. Ancak, tüm metalik aleti eritmek için gereken sürenin oldukça uzun olması bu yöntemi verimsiz kılmaktadır (Hülsmann, 1993; Ormiga ve ark., 2010). Ayrıca, bu kimyasal çözücüler yalnızca kanal içindeki kırık aletin yüzeyine temas edebilmekte ve çevredeki yumuşak ya da sert dokulara zarar verebilme ihtimali nedeniyle öngörülemez olarak değerlendirilmektedir.

Bu nedenlerle, mekanik olmayan yöntemlere kıyasla, özellikle ultrasonik sistemlerin kullanıldığı mekanik yöntemler, daha yüksek başarı oranları, minimal invaziv kanal preparasyonları ve daha hızlı alet çıkarmı avantajlarıyla ön plana çıkmaktadır (Cujé ve ark., 2010; Fu ve ark., 2011; Nagai ve ark., 1986). Ancak, ultrasonik sistemlerle alet çıkarma işlemlerinin başarı oranı %33 ile %100 arasında geniş bir aralıkta değişmektedir. Bu farklılıklar, kırık aletin kanal içindeki konumu ve görünürlüğüne bağlı olarak, uygulanan çıkarma protokollerindeki değişkenliklerden kaynaklanmakta ve işlem süresi 3 dakikadan 60 dakikadan fazlaya kadar uzayabilmektedir (Alomairy, 2009; Nagai ve ark., 1986; Terauchi ve ark., 2007). Tüm bu veriler ışığında, mekanik yöntemler hem başarı hem de pratiklik açısından mekanik olmayan yöntemlere göre daha güvenilir kabul edilmekte ve bu nedenle klinik uygulamalarda daha sık tercih edilmektedir.

Alet Çıkarmak İçin Mekanik Protokoller

Mekanik yöntemlere dayalı alet çıkarma protokollerinin tamamı iki temel aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, kırık alete ulaşımı kolaylaştırmak ve onu gevşetmek amacıyla döner veya ultrasonik aletler kullanılarak kök kanalı şekillendirilir. İkinci aşamada ise, kırık aletin uzaklaştırılması, özel olarak tasarlanmış çıkarma cihazları veya ultrasonik sistemler yardımıyla gerçekleştirilir.

Genel olarak, kırık aletin çıkarılmasına yönelik mekanik yaklaşımlar iki ana gruba ayrılabilir. Birinci yaklaşım, trepan frezleriyle aletin çevresindeki dentinin uzaklaştırılarak, ardından özel cihazlar yardımıyla çıkarılmasını hedefler. İkinci yaklaşım ise, aletin yalnızca yan tarafında sınırlı bir alan açılarak, bu alandan ultrasonik uçlar veya özel eğeler yardımıyla gevşetilmesi ve çıkarılması esasına dayanır. Bu sistemlerde, kırık

aletin çıkarılmasını sağlayan özel eğeler ve loop (halka) sistemleri yer alır.

Trepan frezlerinin kullanıldığı başlıca mekanik cihazlar arasında Masserann Kit (Micro-Mega), Cancellier Extractor Kit (SybronEndo), Endo Extractor (Brasseler Inc.), Endo Rescue (Komet/Brasseler), Micro-Retrieve & Repair System (Superline NIC Dental) ve iRS (Dentsply Tulsa Dental) sayılabilir. Bu sistemlerde, preparasyon aşamasında kırık aletin koronal kısmını ortaya çıkarmak amacıyla 0,7–2,4 mm çapında içi boş, kesici uçlara sahip tüpler kullanılır. Ancak bu tüplerin geniş çapları nedeniyle, ekstraktörün kanal içine yerleştirilmesi için önemli miktarda dentin uzaklaştırılması gereklidir.

Bu nedenle, trepan frezler ve geniş çaplı ekstraktörler yalnızca kırık alete düz bir çizgide erişilebilen durumlarda etkili olabilir. Bu sınırlama nedeniyle, trepan frezlerin kullanımı ön dişlerle ya da arka dişlerin düz kök kanallarına sahip bölümleriyle sınırlı kalmaktadır (Friedman ve ark., 1990; Nagai ve ark., 1986). Eğimli kanallarda trepan frez kullanılması, aşırı dentin kaybı, kök kanalının perfore olması gibi ciddi komplikasyonlara yol açabilir; bu komplikasyonlar zaman içinde kök kırığına neden olabilir (Hashem, 2007; Saunders ve ark., 2004; Souter ve Messer, 2005; Spili ve ark., 2005). Bu bulgular ışığında değerlendirildiğinde, trepan frez içeren sistemlerin, yalnızca ön dişlerde ve kanalın koronal üçte birlik kısmında yer alan kırık aletlerin çıkarılmasında kullanılmasının uygun olduğu söylenebilir.

Ultrasonik veya özel eğeleri içeren sistemler arasında Canal Finder System (FaSociete Endo Technique), EndoPuls System (EndoTechnic), CPR-7 (Obtura-Spartan Corp.), ET25 (Satelec Corp), TFRK-S (DELabs) ve çeşitli küçük çaplı ultrasonik uçlar yer almaktadır. Bu sistemlerde, kırık aleti baypas etmek amacıyla dikey hareket sağlayan özel el aletleri ve eğeler kullanılır (Hülsmann, 1990). Ancak, bu sistemlerin kurvatürlü kök kanallarında uygulanması sırasında dikkatli olunmalıdır. Çünkü, bu bölgelerde yapılan baypas işlemleri sırasında kanalın perfore olma, kırık aletin daha apikal bölgelere itilmesi ve hatta apikal foramenden tamamen dışarı taşması gibi istenmeyen komplikasyonlar ortaya çıkabilir.

Canal Finder System'in kullanıldığı çalışmalarda, genel başarı oranı yaklaşık %68 olarak bildirilmiştir (Hülsmann ve Schinkel, 1999). Bu sistemlerle karşılaştırıldığında, ultrasonik sistemler daha güvenli kabul edilmekte; daha az dentin kaybına neden olmaları ve hem preparasyon hem de çıkarma aşamalarında arka dişlerde bile etkili sonuçlar vermeleri nedeniyle avantajlı bulunmaktadır (Cujé ve ark., 2010; Terauchi ve ark., 2007, 2021).

Ancak tüm bu sistemlerin başarı oranlarında görülen değişkenlikler, uygulama protokollerinin henüz tam anlamıyla standardize edilmemiş

olmasından kaynaklanmaktadır. Bu bağlamda, yakın zamanda gerçekleştirilen bir çalışmada, dental operasyon mikroskobu (DOM) altında görülebilen kırık aletlerin yalnızca ultrasonik cihazlar kullanılarak ve belirlenmiş bir protokol doğrultusunda daha öngörülebilir biçimde çıkarılabildiği gösterilmiştir. Bu protokolün önceki yöntemlere kıyasla daha güvenilir sonuçlar verdiği ifade edilmiştir (Terauchi ve ark., 2021).

Görünür Aleti Çıkarmak İçin Standart Preparasyon Protokolü

Tedavi öncesindeki planlama aşamasında, konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (CBCT) kullanılarak kırık aletin uzunluğu, kanal eğriliği ve kanal duvarı ile ilişkisi değerlendirilir. Kanal eğriliği, kanal ağzından kırık aletin koronal ucuna çizilen düz çizgi ile kanalın uzun eksenine paralel çizginin oluşturduğu açı ölçülerek hesaplanır (Cujé ve ark., 2010; Estrela ve ark., 2008; Lin ve ark., 2005). Elde edilen CBCT bulgularına göre uygun alet çıkarma protokolü planlanır.

Eğer kanal eğriliği 15°'nin altında ve yarıçap genişse, preparasyona 2 veya 3 numaralı Gates–Glidden (GG) frezlerle başlanır. Kanal başlangıçta 3 numaralı GG frezden daha büyükse, genişletme işlemi yapılmaz; ancak eğriliği azaltmak amacıyla dış duvar boyunca fırçalama hareketiyle düz kanal bölümü genişletilebilir (Terauchi ve ark., 2022). Takiben, eğriliği 15°'nin altında olan kanallarda mikrotrefin (DELab) kullanılarak kırık aletin koronal 1 mm'lik kısmı açığa çıkarılır. Ancak eğriliği 15°'nin üzerinde olan kanallarda, basamak oluşumunu önlemek için bu adıma başvurulmaz.

Ardından TFRK-12/6/S gibi küçük çaplı veya kılıç formunda modifiye ultrasonik uçlar kullanılarak, kırık alet etrafında iç duvarda 90°'lik bir yarım daire boşluk açılır. Bu boşluk, düz mızrak uçlarla 180° genişletilerek alet gevşetilir. Kanal düz ise, eksenel CBCT görüntüsünde en kalın görülen duvar yönünde yarım daire boşluk açılır. Boşluğun derinliği genellikle kırık aletin uzunluğunun üçte biri kadar olur ve taban, yarım daire biçimini tutmalıdır. Eğer bu aşamada alet gevşemezse, boşluk genişletilir ve apikal yönde daha fazla gevşeme sağlanır. Apikal kontrol sonrasında, kırık alet orijinal konumundan uzaklaşarak gevşer (Terauchi ve ark., 2022).

Ultrasonik işlemler kuru ortamda yürütülmeli ve şeffaf silikon yağı lubrikant olarak kullanılmalıdır. Cihaz gücü maksimum gücün %10–20'si seviyesinde tutulmalıdır (Cujé ve ark., 2010; Lin ve ark., 2005; Tzanetakakis ve ark., 2008). Yarım daire boşluk 180°'ye tamamlanmadan, mikroskop altında kırık aletin gevşediği gözlenirse preparasyon aşaması tamamlanmış sayılır ve çıkarmaya geçilir.

Görünmeyen Aleti Çıkarmak İçin Standart Preparasyon Protokolü

Görünür alet çıkarımı protokolüne benzer şekilde, görünmeyen alet çıkarımı da CBCT bulgularına dayanarak planlanır. Kanal, görünmeyen kırık alet dikkate alınarak genişletilir. Bu iki protokol arasında temel fark, görünmeyen alet çıkarımında görsel rehberlik olmayışı, yalnızca dokunsal his ile boşluk oluşturulmasıdır; bu da süreci öngörülemez hale getirebilir.

Bu durumda, martensitik faza sahip yüksek esnekliğe sahip NiTi döner eğeler (örneğin #60/02 konik HyFlex EDM finishing file, Coltene/Whaledent) EDTA eşliğinde kavisli kanal bölümlerini genişletmek için kullanılır. Kanal çapı, kırık aletin çapından yaklaşık 0,15 mm daha büyük olmalı ve ultrasonik uçla oluşturulan boşluktan da daha geniş olmalıdır. Kanal çapı, kırık aletin koronal çapının üç katından büyükse ilave genişletmeye gerek yoktur (Terauchi ve ark., 2022).

Alet çıkarımı için hazırlanan yarım daire boşluk 90°'den 180°'ye uzatılmadığından, bu protokol ıslak ortamda gerçekleştirilmelidir. Kanal, önceden biyouyumlu silikon yağı ile doldurularak hem kayganlık sağlanır hem de dokunsal hissin belirginleşmesi artırılır. Görünmeyen koşullarda ultrasonik ucu kanal duvarları ile kırık alet arasındaki boşluğa yerleştirirken, dokunmatik olarak hissedilen “yapışkan direnç” kanalda doğru konumda olduğunu gösterir; gevşeme hissi ise ilerlemeyi doğrular.

Ayrıca işlem sırasında kanalı periyodik olarak EDTA ile irrigasyonla temizlemek gereklidir. Kullanılacak uçlar ince, keskin olmalı ve kanal eğriliğine uygun olarak önceden şekillendirilmelidir (örneğin TFRK-6/12 DELabs). Geniş konik uçlar kullanıldığında, kırık alet apikal yönde itilebilir; bu nedenle dikkat edilmelidir. Ultrasonik uç kızrak gibi boşluğa oturduğunda, “tık” sesi duyulabilir veya hissedilebilir. Boşluktan geri çekildiğinde direnç hissedilirse, uçun pozisyonu radyografi ile doğrulanmalıdır. Doğru pozisyonda ise, 90° yarım daire formu oluşturmak amacıyla ultrasonik titreşim etkinleştirilir (Terauchi ve ark., 2022).

Bununla birlikte, ikincil kırılmaları veya uç kırılmalarını önlemek amacıyla ultrasonik uç, hem gagalama hem darbe hareketlerini, doğrudan kırık aletin iç eğrisi üzerinde uygulayacak şekilde organize edilmelidir. Aktivasyon gücü oldukça düşük tutulmalıdır —hazırlık aşamasında maksimum gücün %30'una geçilmemelidir—. Bu konservatif yaklaşım sayesinde kırık alet çevresindeki dentin duvarlar, ultrasonik uçtan kırık alet aracılığıyla dolaylı titreşimle uzaklaştırılır ve parça gevşer. Ultrasonik uçtan gelen yapışkanlık hissi ortadan kalktığında veya kırık parça kanal eğrisinden çıkmaya başladığında, preparasyon tamamlanmış olarak

kabul edilir ve çıkarma gerçekleştirilir.

Bu hazırlık tekniğinin avantajı minimal invaziv olmasıdır; dezavantajı ise kırık aletin tamamen gevşememe ihtimali ve agresif uygulama durumunda ikincil kırık ya da uç kırılması riskidir. Ayrıca, kırık aletin gevşemesi çoğu zaman zaman alıcı olabilir. Eğer kırık parça apikal foramenin ötesindeyse, alet zaten serbest durumdadır ve kanalın hazırlanmasına gerek yoktur. Bu durumda, extrakanal boşluk kök kanal boşluğuna benzer şekilde kapatılabilir ve ProUltra PiezoFlow veya GentleWave gibi ultrasonik irrigasyon sistemleriyle salin kullanarak kolayca tahliye edilebilir.

Ultrasonik Yöntemle Alet Çıkarma Protokolü

Hazırlık aşamasının tamamlanmasının ardından, dış kanal duvarının koronal uzantıya kadar düzgün ve pürüzsüz olduğu, ayrıca kırık aletin çıkarılmasına engel olabilecek herhangi bir çıkıntının bulunmadığı doğrulanmalıdır. Eğer dış duvarda bir basamak mevcutsa, bu basamak, esnek bir NiTi döner eğe veya ultrasonik uç kullanılarak ortadan kaldırılmalıdır.

Ultrasonik yöntemle alet çıkarmaya başlamadan önce, Stropko irrigatörü aracılığıyla kanal içerisine hava üflenerek kanal kurutulur. Bu işlem, hazırlık aşamasında zaten kanal duvarlarından ayrılmış olan kırık aletin, üflenen hava sayesinde gevşeyerek kanal dışına fırlamasına neden olabilir.

Kanalın eğriliğine bağlı olarak uygun irrigasyon sıvısı seçilmelidir: eğrilik 30°'nin üzerindeyse soya fasulyesi yağı, 30°'nin altındaysa EDTA kullanılmalıdır. Literatürde, 4,6 mm'den kısa kırık aletlerin büyük çoğunluğunun (%94), çıkarma aşamasında yalnızca ultrasonik yöntemle ve 10 saniye içinde başarıyla çıkarılabildiği bildirilmiştir (Terauchi ve ark., 2021).

Bu işlem, kavitasyon ve akustik akışın sağladığı avantajlardan yararlanılarak gerçekleştirilir. Ultrasonik aktivasyonun etkili olabilmesi için, kanalın EDTA veya soya fasulyesi yağı gibi uygun sıvılarla doldurularak ıslak bir ortam oluşturulması gerekir. Kök kanalı sıvıyla tamamen dolu değilse, kırık alet çıkarılamayabilir; bunun yerine, ultrasonik titreşim sırasında kanal içinde yüzebilir.

İzleyen aşamada, ultrasonik uç daha önce oluşturulan boşluğa yerleştirilir ve hazırlık aşamasında kullanılan güç seviyesinden %10–20 daha yüksek bir ayarda aktive edilir. Kırık alet çıkarılınca kadar, iç kanal eğrisi boyunca kısa ve kontrollü yukarı-aşağı vuruşlar uygulanır (Terauchi ve ark., 2021). Islak koşullar altında, ultrasonik uçların kırılmaya karşı kuru ortamlara göre daha dirençli olması nedeniyle, güç seviyesi güvenli biçimde artırılabilir. Ek olarak, ultrasonik sıvının derinliği, kanalın api-

kal kısmındaki debrisin uzaklaştırılmasında etkili olan güç seviyesine paralel olarak artış gösterir (Malki ve ark., 2012).

Ultrasonik uç, kırık aletle doğrudan temas etmektense, iç duvarda aletin mümkün olduğunca uzağındaki bölgeye yerleştirilmeli ve bu noktada aktive edilmelidir. Bu yaklaşım, kırık aletin kanal açıklığından dışarı atılması için gereken alanı oluşturur.

Ancak bazı durumlarda, uygulamanın 10 saniyeyi aşmasına rağmen kırık alet çıkarılamayabilir. Bunun dört ana nedeni vardır:

1. Kırık alet, dış kanal duvarı ile konik veya geniş çaplı titreşimli ultrasonik uç arasına sıkışmış olabilir.
2. Dış kanal duvarı ile ultrasonik uç arasındaki boşluk, kırık aletin çapından daha küçük olabilir; bu durumda aletin dışarı çıkması için yeterli alan oluşmaz.
3. Ultrasonik uç, kırık aleti yanlışlıkla üstten veya dış duvardan itmiş olabilir; bu da parçanın daha apikal bölgelere ilerlemesine neden olur.
4. Kanal içine doldurulan sıvının miktarı yetersiz olabilir; bu da yeterli akustik akış ve kavitasyonun oluşmasına engel olur.

Eğer yukarıdaki protokollere rağmen kırık alet 10 saniye içinde çıkarılamaz ya da başlangıçta 5,7 mm'den daha uzun bir alet söz konusuysa, ultrasonik yöntemin devamı hem zorlayıcı hem de zaman alıcı olabilir. Bu gibi durumlarda, alternatif yöntemler olarak loop cihazları veya XP-Endo Shaper gibi döner sistemler kullanılmalıdır (Terauchi ve ark., 2021).

Loop Sistemleri Kullanarak Alet Çıkarma Protokolü

Loop sistemleri, özellikle kırık aletin kanal dış duvarına yaslanarak boşluk bırakmadan yerleştiği durumlarda tercih edilir. Bu tür vakalarda, kırık aletin üzerine ilmik (loop) yerleştirilerek etkin bir şekilde çıkartım sağlayabilir. Bununla birlikte, 4,5 mm'den daha uzun kırık aletlerde ya da ultrasonik yöntemle yapılan çıkarma girişimlerinin 10 saniyeden uzun sürmesi durumunda, alternatif olarak loop sistemleri devreye alınmalıdır.

Ultrasonik ve XP-Endo Shaper sistemlerinden farklı olarak, loop sistemleri işlem süresince sürekli görsel rehberlik gerektirdiğinden, yalnızca kuru koşullarda uygulanabilir. Bu sistemler arasında EndoCowboy, BTR Pen ve Yoshi Loop gibi cihazlar yer almakta olup, özellikle uzun süredir gevşemiş olan kırık aletlerin, daha koronale yönlendirilmiş kuvvetlerle güvenli şekilde çıkarılmasına olanak tanır.

Loop sistemlerinin etkili olabilmesi için, kanalda halka (loop) yerleştirilebilecek en az 0,4 mm çapında bir boşluk bulunmalıdır. Ayrıca, kırık aletin koronal kısmı, loop cihazının bu bölgeye angaje olabilmesi amacıyla en az 0,7 mm derinliğinde çevresel olarak açığa çıkarılmalıdır. Bu boşluğun yeterliliğini değerlendirmek için, alana #40 numaralı bir tıkaç yerleştirilir. Eğer tıkaç rahatlıkla oturuyorsa, ondan biraz daha küçük çapa sahip bir loop ilmeği bu boşluğa güvenli şekilde yerleştirilebilir.

İlmeğin çapı, kırık aletin koronal kısmına uygun şekilde ayarlanmalıdır. Bu işlemde, DG16 endodontik eksplorör (Hu-Friedy gibi) kullanılabilir. DG16'nın ucu, ilmek içine yerleştirildikten sonra ilmek çevresel olarak sıkılaştırılır. DG16'nın apikal ucu, ilmeğin boyutunu küçültmek; koronal ucu ise büyümek amacıyla kullanılır. Daha sonra, ilmeğin alet üzerine yerleştirilmesini kolaylaştırmak için ilmek, standart 90° açı yerine 45° eğimle bükülür. Bu eğim, kanal içine daha kolay yerleşmeyi sağlar. İlmek kanala yerleştirildikten sonra, kırık aletin üzerine 90° açıyla geri itilir.

İlmek, gevşemiş olan kırık aletin etrafında dikkatlice sıkılarak, kontrollü bir çekme hareketiyle aletin kanal dışına çıkarılması sağlanır. Eğer işlem sırasında direnç hissedilirse, loop sistemi farklı yönlerde nazikçe ve yavaşça sallanarak kanaldan çıkarılmalıdır. Ancak bu işlem, sadece çekme yönünde kuvvet uygulamaya dayanmalıdır; aksi takdirde, özellikle dikey yönde aşırı güç uygulanması kırığa yol açabilir (Terauchi ve ark., 2022).

XP-Endo Shaper Kullanarak Alet Çıkarma Protokolü

XP-endo Shaper, ısıtılma işlemi görmüş MaxWire alaşımından üretilmiş, 15 numaralı güçlendirici uca sahip döner bir sistemdir. Bu sistem, oda sıcaklığında düz formda olan martensitik fazda bulunur; ancak vücut sıcaklığına (yaklaşık 37°C) maruz kaldığında, $\geq 30/04$ konikliğinde yılan benzeri bir şekle dönüşerek östenitik faza geçer (Azim ve ark., 2017). Bu dönüşüm, eğenin kök kanal duvarlarına geniş temas etmesini ve kazıma işlemini mümkün kılar. Ayrıca, eğer kırık alet kanal duvarı boyunca gevşemiş halde bulunuyorsa, XP-endo Shaper bu boşluğu izleyerek aleti döndürüp yukarı doğru gevşetebilir.

Kanal içinde saat yönünde döndürülen XP-endo Shaper, aletin ters yöne yani saat yönünün tersine hareket etmesini sağlar. Bu durum, kırık aletin koronal yönde serbestleşmesini kolaylaştırır. Prosedür sırasında sürtünmeyi azaltmak ve XP-endo Shaper'ın burulma direncini korumak amacıyla bitkisel ya da silikon bazlı bir yağlayıcı kullanılması önerilir.

Ancak, XP-endo Shaper'ın daha küçük konik yapısı, onu geleneksel NiTi döner eğelere kıyasla burulma yorgunluğuna karşı daha hassas hâle

getirir (Silva ve ark., 2018). Bu nedenle, bu alet 3–5 mm’lik yukarı-aşağı vuruşlarla ve yüksek hızda (>2000 rpm) kullanılmalıdır. Bu kısa, dikey hareketler aynı zamanda kırık aletin kanal boyunca yukarı çekilmesine yardımcı olur. Yapılan çalışmalar, XP-endo Shaper’ın 3000 rpm’de döndürülmesinin, 1000 rpm’ye kıyasla daha güvenli ve etkili preparasyon sağladığını göstermiştir (Azim ve ark., 2018; Webber ve ark., 2020).

Özetle, XP-endo Shaper; özellikle loop sistemlerinin yerleştirilemediği, dış kanal duvarına sıkıca yaslanmış ve >5,7 mm uzunluğundaki kırık aletlerin çıkarılmasında, uygun yağlayıcı eşliğinde ve yüksek hızda döndürülerek etkili bir çözüm sunar.

XP-Endo Finisher Kullanarak Alet Çıkarma Protokolü

XP-endo Finisher (FKG Dentaire), #25 numaralı bir eğedir ve kanal anatomisine zarar vermeden temizleme işlemine olanak tanır. Yüksek elastikiyeti sayesinde 6 mm’ye kadar genişleyebilir ve üç boyutlu olarak kanal yapısına adapte olabilir (Azim ve ark., 2016; Leoni ve ark., 2017). Bu özelliği, kanal içi sıcaklığa maruz kaldığında kaşık biçimli forma dönüşmesiyle mümkündür.

XP-endo Finisher; sert doku kalıntıları, smear tabakası ve özellikle apikal üçlü bölgedeki kalsiyum hidrokisit gibi materyallerin uzaklaştırılmasında oldukça etkilidir (Elnaghy ve ark., 2017; Wigler ve ark., 2017). Aletin bu yeteneği, XP-endo Shaper’daki prensibe benzer biçimde, ısı dönüşüm sonrası kanal boyunca genişleyebilme özelliğiyle gerçekleşir.

Kırık aletin majör apikal foramenin ötesine taşması durumunda, XP-endo Finisher yüksek hızlı saat yönünde döndürülerek gevşemiş parçayı daha genişlemiş kanal yoluyla çıkarmaya yardımcı olabilir. Ayrıca, doğrudan gözlenemeyen derin kırık aletlerin alınmasında, Hedström veya K-tipi eğe ile örgü tekniği kullanılabilir. Ancak bu teknikler yalnızca dokunsal geribildirimle yönlendirilir ve bu durum, işlemin öngörülemezliğini artırır (Shen ve ark., 2004; Suter ve ark., 2005). Üstelik, bu tür eğeler kaldırma sırasında sıklıkla kırılma riski taşır (Ahmad ve ark., 1987).

Kök Kanallarında Bırakılan Kırık Aletin Prognozu

Kök kanalında, temizleme ve şekillendirme işlemleri tamamlanmadan kırık bir endodontik aletin bulunması, özellikle kırık aletin apikalindeki kanal boşluğunun debridmanını engellediğinde, tedavi prognozunu olumsuz etkiler. Ayrıca, uygun bir teşhis yapılmadan, kavisli bir kanaldan kırık aletin çıkarılmasına yönelik agresif girişimler; aşırı dentin kaybı, ikincil alet kırığı, kök perforasyonu ve hatta kök kırığı gibi komplikas-

yonlara neden olabilir (Hashem, 2007; Saunders ve ark., 2004; Souter ve Messer, 2005).

Kök kanalı içinde veya dışında kalan kırık bir aletin, postoperatif rahatsızlık yarattığı düşünülse de, esas sorun genellikle operasyon sonrası ortamda hayatta kalan bakterilerin sayısındaki artışla ilişkilidir. Bu bakteriler, periapikal hastalık gelişimini tetikleyebilecek çevresel değişikliklere yanıt olarak patojenik hale gelir (Möller ve ark., 2004).

Kırık aletin konumu, tedavi sonucunu doğrudan etkiler. Kanal preparasyonunun son aşamasında meydana gelen, özellikle apeks içinde konumlanan bir kırık alet vakası, kanalın öncesinde yeterince temizlenmiş ve dekontamine edilmiş olması nedeniyle, genellikle daha iyi prognoza sahiptir (Torabinejad ve Lemon, 2002). Bununla birlikte, kırık eğenin kök kanal preparasyonunun bitiş noktasına ne kadar yakın yer aldığı, tedavi başarısını doğrudan artırır.

Eğer preoperatif dönemde kökle ilişkili bir periapikal lezyon mevcut değilse, kırık aletin varlığı prognozu anlamlı ölçüde etkilemez ve bu alet kök kanal dolgusuna dahil edilebilir (Crump ve Natkin, 1970). Ayrıca, kırık ege öngörülebilen ve aşırı dentin kaybına yol açmadan çıkarılabilirse, tedavi sonucu yine olumsuz yönde etkilenmez.

Genel olarak, kırık aletin varlığından ziyade, apikal bölgede kalan mikroorganizmaların varlığı prognoz üzerinde belirleyici etkindir. Kırık aletin apikalindeki bölgenin temizlenememesi, prognozu, apikalinde basamak oluşumu nedeniyle debridmanı engellenmiş endodontik vakalara benzer şekilde olumsuz etkileyebilir (Gutmann ve Lovdahl, 2010; Harty ve ark., 1970; Kapalas ve Lambrianidis, 2000).

Kanal içinde kırık aletin bulunduğu vakalarda prognoz genellikle riskli olarak değerlendirilse de, Panitvisai ve ark. (2010) tarafından yapılan sistematik bir derleme, bu vakaların büyük çoğunluğunun olumlu sonuçlandığını göstermektedir. Bu bağlamda, kırık aletin varlığı tek başına kötü prognoz göstergesi değildir. Ancak, prognozun belirlenmesinde en önemli faktörlerden biri, preoperatif periapikal lezyonun varlığıdır. Spesifik olarak, önceden lezyon içeren ve endodontik olarak tekrar tedavi edilen dişlerde kırık aletin kanalda kalması durumunda prognozun önemli ölçüde kötüleştiği bildirilmiştir (Panitvisai ve ark., 2010; Spili ve ark., 2005).

Kırık Aletlerin Çıkarılmasında Gelecekteki Yönelimler

Günümüzde, ultrasonik aletlerle birlikte dental operasyon mikroskopunun (DOM) kullanımı, kök kanalındaki kırık aletlerin çıkarılmasında

oldukça etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır (Cujé ve ark., 2010; Fu ve ark., 2011; Nagai ve ark., 1986; Terauchi ve ark., 2021; Wu ve ark., 2011). Ancak, loop sistemlerinin etkinliği yalnızca kırık aletin DOM altında doğrudan görülebilir olması durumunda geçerlidir. Görünmeyen kırık aletler ise, yalnızca iç kanal duvarı ile alet arasında ince bir ultrasonik uç yerleştirilebilecek kadar boşluk varsa ve aletin uzunluğu 4,6 mm'den kısa ise çıkarılabilir.

Nitekim, yapılan araştırmalar, 4,6 mm'den kısa kırık aletlerin %94'ünün, hazırlık aşamasını takiben yalnızca ultrasonik sistemle ve 10 saniyeden kısa sürede çıkarılabildiğini göstermiştir. Bu nedenle, başarılı bir alet çıkarımı için hazırlık aşaması kritik öneme sahiptir (Terauchi ve ark., 2021). Öte yandan, 4,5 mm'den uzun, görünmeyen kırık aletlerin çıkarılması, yalnızca ultrasonik uçlarla kanal duvarı ile alet arasında boşluk oluşturulması veya aletin baypas edilmesi durumunda mümkündür. Böyle vakalarda XP-endo Shaper gibi döner sistemler yardımcı olabilir.

Daha uzun kırık aletlerin çıkarılması, kanal duvarlarından daha fazla dentin kaldırılmasını gerektirdiği için, işlem süresi de uzamaktadır. Ayrıca, Suter ve ark. (2005), alet çıkarma süresinin uzamasının başarı oranı üzerinde olumsuz etkisi olduğunu belirtmiştir.

Gelecekte, alet çıkarımındaki zorlukları özellikle kanal kurvatürünün ötesinde yer alan, 4,5 mm'den uzun ve görünmeyen kırık aletlerin yönetiminde hafifletmeyi hedefleyen iki ana yönelim öne çıkmaktadır:

1. İrrigasyon Sistemlerindeki İlerlemeler:

Kök kanal hazırlama tekniklerindeki önemli değişiklikler, gelecekteki alet kırıklarının oluşumunu önleyebilir. Bu kapsamda, GentleWave Sistemi gibi yeni nesil irrigasyon teknolojileri, geleneksel döner enstrümantasyon ihtiyacını azaltabilir. GentleWave, minimal veya hiç enstrümantasyon gerektirmeyen kanalların temizliğini, gelişmiş sıvı dinamiği, akustik enerji ve doku çözünme kimyası yoluyla sağlayan multisonik bir irrigasyon sistemidir (Haapasalo ve ark., 2014). Yapılan çalışmalar, bu sistemin 6 ve 12 aylık takiplerde %97 gibi yüksek başarı oranları sağladığını göstermektedir (Haapasalo ve ark., 2014; Molina ve ark., 2015).

Ancak, özellikle yeniden tedavide, GentleWave dahil mevcut irrigasyon sistemlerinin hiçbirisi, tüm debrisleri ve tıkaçıcı materyalleri tamamen uzaklaştıramamıştır. Ayrıca, debridman etkinliği açısından GentleWave ile diğer irrigasyon teknikleri arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır (Wright ve ark., 2019). Bu bulgular, daha etkili bir temizlik için bu sistemlerin daha da geliştirilmesi gerektiğini ve ideal sistemin herhangi bir preparasyon gerektirmeyecek düzeye ulaşması gerektiğini göstermektedir.

2. Yeni Döner Alet Sistemlerinin Geliştirilmesi:

Gelecekte, her türden kırık aletin çıkarılmasına yönelik olarak, birden fazla döner eğeden oluşan özel sistemlerin geliştirilmesi mümkündür. Bu sistemlerde ilk eğeler, kanal içinde küçük bir boşluk oluşturarak kırık alet çevresinde alan yaratabilir; ikinci grup eğeler ise, bu boşluğa girerek kırık aleti saat yönünde döndürerek gevşetip çıkarmayı amaçlar. Bu yöntemle, kırık aletin görünürlüğüne bakılmaksızın çıkarılması, geleneksel kök kanal şekillendirme kadar kolay hâle gelebilir. Böyle bir sistemin geliştirilmesi, DOM ve ultrasonik cihazlara olan ihtiyacı büyük ölçüde azaltabilir.

Düz kök kanallarındaki kırık aletlerin çıkarılması, kavisli kanallara göre daha kolaydır; bu, döner aletlerin düz kanallarda daha güvenli kullanılabileceği bilgisini de destekler. Bununla birlikte, bazı durumlarda, kanal eğrisinin ötesinde bulunan uzun kırık aletlerin çıkarılmasında ultrasonik uçların kullanımı kaçınılmaz olabilir. Özellikle çıkıntı oluşumunu veya kanal taşınmasını önlemek için, ultrasoniklerin döner sistemlerle birlikte kullanılması daha etkin sonuçlar doğurabilir.

KAYNAKÇA

- Ahmad, M., Pitt Ford, T.R. & Crum, L.A. (1987) Ultrasonic debride ment of root canals: acoustic streaming and its possible role. *Journal of Endodontics*, 13, 490– 499.
- Al- Hadlaq, S.M.S., AlJarbou, F.A. & AlThumairy, R.I. (2010) Evaluation of cyclic flexural fatigue of M- Wire nickel- titanium rotary instruments. *Journal of Endodontics*, 36, 305– 307.
- Alomairy, K.H. (2009) Evaluating two techniques on removal of fractured rotary nickel- titanium endodontic instruments from root canals: an in vitro study. *Journal of Endodontics*, 35, 559– 562.
- Azim, A.A., Aksel, H., Zhuang, T., Mashtare, T., Babu, J.P. & Huang, G.T.J. (2016) Efficacy of 4 irrigation protocols in killing bacte ria colonized in dentinal tubules examined by a novel confocal laser scanning microscope analysis. *Journal of Endodontics*, 42, 928– 934.
- Azim, A.A., Piasecki, L., da Silva Neto, U.X., Cruz, A.T.G. & Azim, K.A. (2017) XP Shaper, a novel adaptive core rotary instrument: Micro- computed tomographic analysis of its shaping abilities. *Journal of Endodontics*, 43, 1532– 1538.
- Azim, A.A., Wang, H.H., Tarrosh, M., Azim, K.A. & Piasecki, L. (2018) Comparison between single- file rotary systems: part 1— efficiency, effectiveness, and adverse effects in endodontic retreatment. *Journal of Endodontics*, 44, 1720– 1724.
- Cheung, G.S.P. (2007) Instrument fracture: mechanisms, removal of fragments, and clinical outcomes. *Endodontic Topics*, 16, 1– 26.
- Crump, M.C. & Natkin, E. (1970) Relationship of broken root canal instruments to endodontic case prognosis: a clinical investi gation. *The Journal of the American Dental Association*, 80, 1341– 1347.
- Cujé, J., Bargholz, C. & Hülsmann, M. (2010) The outcome of re tained instrument removal in a specialist practice. *International Endodontic Journal*, 43, 545– 554.
- De- Deus, G., Moreira, E.J.L., Lopes, H.P. & Elias, C.N. (2010) Extended cyclic fatigue life of F2 ProTaper instruments used in reciprocating movement. *International Endodontic Journal*, 43, 1063– 1068.
- Eleazer, P.D. & O'Connor, R.P. (1999) Innovative uses for hypodermic needles in endodontics. *Journal of Endodontics*, 25, 190– 191.
- Elnaghy, A.M., Mandorah, A. & Elsaka, S.E. (2017) Effectiveness of XP- endo Finisher, EndoActivator, and file agitation on debris and smear layer removal in curved root canals: a comparative study. *Odontology*, 105, 178– 183.
- Estrela, C., Bueno, M.R., Sousa- Neto, M.D. & Pécora, J.D. (2008) Method for determination of root curvature radius using cone- beam computed tomography images. *Brazilian Dental Journal*, 19, 114– 118.
- Farid, H., Khan, F.R. & Rahman, M. (2013) ProTaper rotary instru ment fracture

during root canal preparation: a comparison between rotary and hybrid techniques. *Oral Health and Dental Management*, 12, 50– 55.

- Friedman, S., Stabholz, A. & Tamse, A. (1990) Endodontic retreatment— case selection and technique. Part 3. Retreatment techniques. *Journal of Endodontics*, 16, 543– 549.
- Fu, M., Zhang, Z. & Hou, B. (2011) Removal of broken files from root canals by using ultrasonic techniques combined with dental microscope: a retrospective analysis of treatment outcome. *Journal of Endodontics*, 37, 619– 622.
- Gambarini, G. (2001) Cyclic fatigue of nickel- titanium rotary instruments after clinical use with low- and high- torque endodontic motors. *Journal of Endodontics*, 27, 772– 774.
- Gettleman, B.H., Spriggs, K.A., ElDeeb, M.E. & Messer, H.H. (1991) Removal of canal obstructions with the endo extractor. *Journal of Endodontics*, 17, 608– 611.
- Gutmann, J.L. & Lovdahl, P.E. (2010) Problem solving in endodontics: Prevention, identification, and management, 5th edition. pp. 1– 478.
- Haapasalo, M., Wang, Z., Shen, Y., Curtis, A., Patel, P. & Khakpour, M. (2014) Tissue dissolution by a novel multisonic ultraclean ing system and sodium hypochlorite. *Journal of Endodontics*, 40, 1178– 1181.
- Harty, F.J., Parkins, B.J. & Wengraf, A.M. (1970) Success rate in root canal therapy. A retrospective study of conventional cases. *British Dental Journal*, 128, 65– 70.
- Hashem, A. (2007) Ultrasonic vibration: temperature rise on external root surface during broken instrument removal. *Journal of Endodontics*, 33, 1070– 1073.
- Hülsmann, M. (1990) Removal of fractured root canal instruments using the Canal Finder System. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*, 45, 229– 232.
- Hülsmann, M. (1993) Methods for removing metal obstructions from the root canal. *Endodontics & Dental Traumatology*, 9, 223– 237.
- Hülsmann, M. & Schinkel, I. (1999) Influence of several factors on the success or failure of removal of fractured instruments from the root canal. *Dental Traumatology*, 15, 252– 258.
- Iqbal, M.K., Kohli, M.R. & Kim, J.S. (2006) A retrospective clinical study of incidence of root canal instrument separation in an endodontics graduate program: a Pennendo database study. *Journal of Endodontics*, 32, 1048– 1052.
- Jiang, L.M., Verhaagen, B., Versluis, M. & van der Sluis, L.W.M. (2010) Influence of the oscillation direction of an ultrasonic file on the cleaning efficacy of passive ultrasonic irrigation. *Journal of Endodontics*, 36, 1372– 1376.
- Kapalas, A. & Lambrianidis, T. (2000) Factors associated with root canal ledging during instrumentation. *Dental Traumatology*, 16, 229– 231.
- Karataş, E., Arslan, H., Büker, M., Seçkin, F. & Çapar, I.D. (2016) Effect of movement kinematics on the cyclic fatigue resistance of nickel- titanium

- instruments. *International Endodontic Journal*, 49, 361– 364.
- Leoni, G.B., Versiani, M.A., Silva- Sousa, Y.T., Bruniera, J.F.B., Pécora, J.D. & Sousa- Neto, M.D. (2017) Ex vivo evaluation of four final irrigation protocols on the removal of hard- tissue debris from the mesial root canal system of mandibular first molars. *International Endodontic Journal*, 50, 398– 406.
- Lin, L.M., Rosenberg, P.A. & Lin, J. (2005) Do procedural errors cause endodontic treatment failure? *The Journal of the American Dental Association*, 136, 187– 193.
- Lopes, H.P., Moreira, E.J.L., Nelson Elias, C., Andriola de Almeida, R. & Neves, M.S. (2007) Cyclic fatigue of protaper instruments. *Journal of Endodontics*, 33, 55– 57.
- Malki, M., Verhaagen, B., Jiang, L.M., Nehme, W., Naaman, A., Versluis, M. et al. (2012) Irrigant flow beyond the insertion depth of an ultrasonically oscillating file in straight and curved root canals: visualization and cleaning efficacy. *Journal of Endodontics*, 38, 657– 661.
- Molina, B., Glickman, G., Vandrangi, P. & Khakpour, M. (2015) Evaluation of root canal debridement of human molars using the GentleWave system. *Journal of Endodontics*, 41, 1701– 1705.
- Moller, A.J.R., Fabricius, L., Dahlen, G., Sundqvist, G. & Happonen, R.P. (2004) Apical periodontitis development and bacterial re sponse to endodontic treatment. Experimental root canal in fections in monkeys with selected bacterial strains. *European Journal of Oral Sciences*, 112, 207– 215.
- Nagai, O., Tani, N., Kayaba, Y., Kodama, S. & Osada, T. (1986) Ultrasonic removal of broken instruments in root canals. *International Endodontic Journal*, 19, 298– 304.
- Neves, G., Cunha, R.S., Zuolo, M.L. & da Silveira Bueno, C.E. (2012) Success rates for removing or bypassing fractured in struments: a prospective clinical study. *Journal of Endodontics*, 38, 442– 444.
- Ormiga, F., da Cunha Ponciano Gomes, J.A. & de Araújo, M.C.P. (2010) Dissolution of nickel- titanium endodontic files via an electrochemical process: a new concept for future retrieval of fractured files in root canals. *Journal of Endodontics*, 36, 717– 720.
- Panitvisai, P., Parunnit, P., Sathorn, C. & Messer, H.H. (2010) Impact of a retained instrument on treatment outcome: a systematic review and meta- analysis. *Journal of Endodontics*, 36, 775– 780.
- Pereira, E.S.J., Peixoto, I.F.C., Viana, A.C.D., Oliveira, I.I., Gonzalez, B.M., Buono, V.T.L. et al. (2012) Physical and mechanical prop erties of a thermomechanically treated NiTi wire used in the manufacture of rotary endodontic instruments. *International Endodontic Journal*, 45, 469– 474.
- Saunders, J., Eleazer, P., Zhang, P. & Michalek, S. (2004) Effect of a separated instrument on bacterial penetration of obturated root canals. *Journal of Endodontics*, 30, 177– 179.
- Shen, Y., Coil, J.M. & Haapasalo, M. (2009) Defects in nickel- titanium

- instruments after clinical use. Part 3: a 4- year retrospective study from an undergraduate clinic. *Journal of Endodontics*, 35, 193– 196.
- Shen, Y., Peng, B. & Cheung, G.S.P. (2004) Factors associated with the removal of fractured NiTi instruments from root canal systems. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 98, 605– 610.
- Silva, E.J.N.L., Vieira, V.T.L., Belladonna, F.G., Zuolo, A.S., Antunes, H.S., Cavalcante, D.M. et al. (2018) Cyclic and torsional fatigue resistance of XP- endo Shaper and TRUShape instruments. *Journal of Endodontics*, 44, 168– 172.
- Souter, N.J. & Messer, H.H. (2005) Complications associated with fractured file removal using an ultrasonic technique. *Journal of Endodontics*, 31, 450– 452.
- Suter, B., Lussi, A. & Sequeira, P. (2005) Probability of removing fractured instruments from root canals. *International Endodontic Journal*, 38, 112– 113.
- Spili, P., Parashos, P. & Messer, H.H. (2005) The impact of instrument fracture on outcome of endodontic treatment. *Journal of Endodontics*, 31, 845– 850.
- Terauchi, Y., Ali, W. T., & Abielhassan, M. M. (2022). Present status and future directions: removal of fractured instruments. *International Endodontic Journal*, 55, 685-709.
- Terauchi, Y., O’Leary, L., Kikuchi, I., Asanagi, M., Yoshioka, T., Kobayashi, C. et al. (2007) Evaluation of the efficiency of a new file removal system in comparison with two conventional systems. *Journal of Endodontics*, 33, 585– 588.
- Terauchi, Y., Sexton, C., Bakland, L.K. & Bogen, G. (2021) Factors affecting the removal time of separated instruments. *Journal of Endodontics*, 47, 1245– 1252.
- Torabinejad, M. & Lemon, R.R. (2002) *Principles and practice of endodontics*, 3rd edition, Philadelphia: Saunders.
- Tzanetakis, G.N., Kontakiotis, E.G., Maurikou, D.V. & Marzelou, M.P. (2008) Prevalence and management of instrument fracture in the postgraduate endodontic program at the dental school of Athens: a five- year retrospective clinical study. *Journal of Endodontics*, 34, 675– 678.
- Webber, M., Piasecki, L., Jussiani, E. I., Andrello, A. C., Dos Reis, P. J., Azim, K. A., & Azim, A. A. (2020). Higher Speed and No Glide Path: A New Protocol to Increase the Efficiency of XP Shaper in Curved Canals-An In Vitro Study. *Journal of endodontics*, 46(1), 103–109.
- Wigler, R., Dvir, R., Weisman, A., Matalon, S. & Kfir, A. (2017) Efficacy of XP- endo finisher files in the removal of calcium hydroxide paste from artificial standardized grooves in the apical third of oval root canals. *International Endodontic Journal*, 50, 700– 705.
- Wright, C.R., Glickman, G.N., Jalali, P. & Umoren, M. (2019) Effectiveness of gutta- percha/sealer removal during retreatment of extracted human

molars using the GentleWave system. *Journal of Endodontics*, 45, 808–812.

Wu, J., Lei, G., Yan, M., Yu, Y., Yu, J. & Zhang, G. (2011) Instrument separation analysis of multi- used protaper universal rotary system during root canal therapy. *Journal of Endodontics*, 37, 758– 763.

Yum, J., Cheung, G.S.P., Park, J.K., Hur, B. & Kim, H.C. (2011) Torsional strength and toughness of nickel- titanium rotary files. *Journal of Endodontics*, 37, 382– 386.