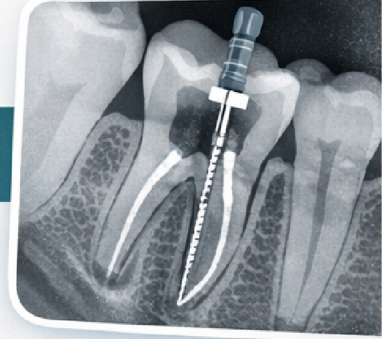


ENDODONTİDE

GÜNCEL TANI,
TEDAVİ PROTOKOLLERİ

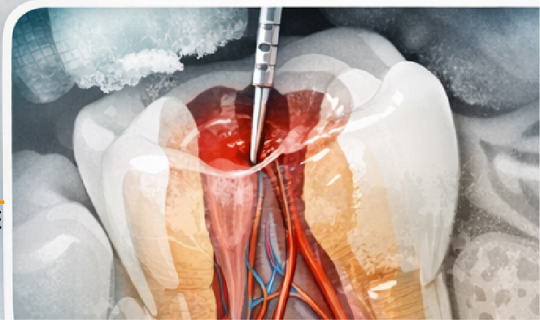
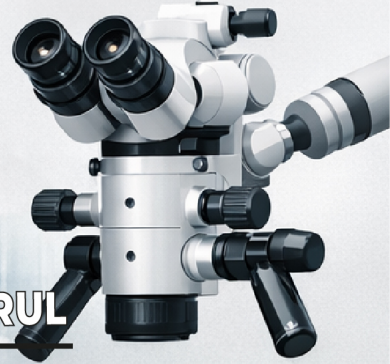
ve

KLİNİK YAKLAŞIMLAR



Editör

İHSAN FURKAN ERTUĞRUL



BİDGE Yayınları

Endodontide Güncel Tanı, Tedavi Protokolleri ve Klinik Yaklaşımlar

Editör: İHSAN FURKAN ERTUĞRUL

ISBN: 978-625-372-949-3

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 2025-12-25

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



İÇİNDEKİLER

KÖK KANAL ANOMALİLERİ VE TÜRK TOPLUMUNDAKİ SIKLIĞININ DEĞERLENDİRİLMESİ	1
<i>ESRA ARILI ÖZTÜRK</i>	
PULPAL VE PERİRADİKÜLER HASTALIKLARIN TANISAL SINIFLANDIRILMASI: TARİHSEL GELİŞİM VE GÜNCEL KONSENSUS	19
<i>GAMZE EBRAR NALBANT</i>	
İNTERNAL İNFLAMATUAR KÖK REZORPSİYONU: DIŞIN BİLİNMEYEN REZORPİYONU	34
<i>GÖRKEM NORK</i>	
ENDODONTİDE KEŞİF VE REHBER YOL HAZIRLAMA	67
<i>BİRCAN KULOĞLU</i>	
Kök Kanal Tedavisinde Kullanılan Medikamentler ve Prognoz ...	84
<i>GAMZE EBRAR NALBANT, DİLEK HANÇERLİOĞULLARI</i>	
ENDODONTİK ALET KIRIĞI: RİSK FAKTÖRLERİ	108
<i>ÖZLEM ÖZDEMİR, FATMA PERTEK HATİPOĞLU</i>	
ENDODONTİK TEDAVİLER SONRASI AĞRI KONTROLÜNDE KRİYOTERAPİ	120
<i>GİZEM PELİN YOLDAŞ, HATİCE BÜYÜKÖZER ÖZKAN</i>	
Eğri Kanallarda Kök Kanal Dolgusu Uzaklaştırma: Farklı Şelatlayıcı Ajanlar, İrrigasyon Aktivasyonu ve Dentin Biyolojik Yanıtı	143
<i>ÖZGE BAŞAR</i>	
ENDODONTİDE GÜNCEL İRRİGASYON YAKLAŞIMLARI: NANOTEKNOLOJİ TABANLI İRRİGASYON AJANLARI VE KLİNİK POTANSİYELLERİ ..	161
<i>GİZEM AKIN TARTUK</i>	
ENDODONTİDE ANTİBİYOTİK KULLANIMI	204
<i>İHSAN FURKAN ERTUĞRUL</i>	

BÖLÜM 1

KÖK KANAL ANOMALİLERİ VE TÜRK TOPLUMUNDAKİ SIKLIĞININ DEĞERLENDİRİLMESİ

1. Esra Arılı Öztürk¹

Giriş

Diş anomalileri, dişlerin sayı, şekil, konum ve yapısındaki farklılıklar olarak tanımlanır ve konjenital veya sonradan edinilmiş olabilir. Doğuştan gelen anomaliler genetik bir temele sahipken sonradan edinilmiş anomaliler diş germi gelişiminden sonra meydana gelir (1). Sayı, morfoloji ve boyut anomalileri gelişimsel anomaliler grubuna girerken, süt dişinin erken kaybına bağlı olarak ortaya çıkabilen sürme anomalileri sonradan edinilmiş anomaliler olarak kabul edilebilir (2). Diş anomalilerinin meydana gelmesinde genetik ve çevresel faktörler etkilidir (3). Çevresel faktörlerden travma, radyasyon, enfeksiyon ve hormonal bozukluklar diş anomalilerinin oluşumunda önemli rol oynamaktadır (4). Ayrıca, diş anomalileri özellikle çoklu olduklarında, bazı sendromlar düşünülebilir (5, 6). Epitel-mezenkimal etkileşimlerin bozulması,

¹ Uzm Dt, Özel Klinik, Endodonti, Orcid: 0000-0003-2137-4442

normal odontogenezi değiştirerek gelişimsel bir anomaliye neden olabilir (7). Dişlerdeki yapı anomalileri diş oluşumunun histodiferansiyasyon; dişin büyüklüğü, şekli ve dokusundaki anormallikler ise morfodiferansiyon aşamasında oluşan bozukluklardan kaynaklanır (8, 9). Kök kanal sisteminde görülen anomaliler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Kök sayı ve biçim anomalileri

- Kısa kök anomalisi
- Radiks entomolaris ve Radiks paramolaris
- Füzyon
- Dilasasyon

2. Kök-kanal anomalileri

- Dens invaginatus
- Taurodontizm
- C şekilli kanallar

3. Kök Yapı Anomalileri

- Dentin displazisi
- Dentinogenesis imperfekta
- Odontodisplazi

Kök kanal tedavisinin başarısı, kök-kanal morfolojisinin ve endodontik tedaviyi zorlaştırabilecek tüm anatomik varyasyonların tam olarak anlaşılmasına bağlıdır. Kron ve kök bölgelerinde bulunan anomaliler, endodontik tedavinin biyomekanik ve kimyasal hazırlığının birincil amacı olan kök kanal sisteminin sızdırmazlığını tehlikeye atan klinik zorluklar oluşturabilir. Bu farklılıklar morfolojik olarak karmaşık ve klinik olarak önemli olduğundan, diş hekimlerinin tedavi sürecinden beklenen başarılı sonucu elde etmek

için bu özellikler hakkında önemli bilgi ve becerilere sahip olmaları gerekir (10). Diş anomalilerinin detaylı incelenmesi, maloklüzyon, estetik deformiteler, periodontal problemler, çürük, kök kanal tedavisi sırasında zorluklar gibi daha fazla komplikasyonun önlenmesini sağlar (11). Radyografik gözlemler ve klinik muayeneler anomalilerin ayırıcı tanısında önemli bir rol oynamaktadır (12). Gelişimsel anomalileri kronik klinik olarak incelemek mümkünken, köklerdeki etkilenme hem klinik hem radyolojik inceleme gerektirmektedir. Bu nedenle kökteki çoğu gelişimsel anomaliyi teşhis etmek zordur ve çoğu zaman diş kaybına gidebilecek ciddi komplikasyonlara yol açana kadar gözden kaçabilmektedir (13).

Diş kök ve kanallarının iç anatomisi, kanal boyama, plastik reçine enjeksiyonu, konvansiyonel radyografiler, dijital ve kontrastlı radyografik teknikler, in vitro makroskobik inceleme, taramalı elektron mikroskopi, bilgisayarlı tomografi (BT), mikro-BT ve konik ışınli bilgisayarlı tomografi (KIBT) gibi farklı yöntemler kullanılarak incelenmiştir (14). Bu görüntüleme yöntemlerinden biri olan KIBT, invaziv olmayan, üç boyutlu görüntüleme için pratik bir yöntem olarak ortaya çıkmış ve klinisyenlere endodontik tedavilerde kök kanal morfolojisini analizinde yardımcı olmuştur (15). Kök kanal morfolojisi, kök kanal sayısı ve bunların birbirlerine göre konumları üç boyutlu olarak görselleştirilebilir (15). Dilaserasyon, dens invajinatus, taurodontizm ve radix molaris gibi kök anomalileri radyografik inceleme olmadan tespit edilemez. Bu nedenle, KIBT kullanılarak yapılan çalışmaların bulguları, klinisyenlere endodontik tedaviler sırasında potansiyel komplikasyonları önlemede yardımcı olabilir ve tedavi başarısını önemli ölçüde artırabilir (16).

Diş anomalilerinin yaygınlığını inceleyen birçok çalışma yapılmıştır, ancak sonuçlar farklı popülasyonlar için değişkenlik göstermektedir (10, 11, 17). Farklı popülasyon gruplarında diş anomalilerinin görülme sıklığı ve ifade derecesi, filogenetik ve

genetik çalışmalar için önemli bilgiler sağlayabilir ve farklı popülasyonlar içindeki ve arasındaki varyasyonların anlaşılmasına yardımcı olabilir (18).

Çoğunlukla daimi st anterior dişlerde görülen kısa kök anomalisi, kron-kök oranı 1:1'den fazla olan, gelişimsel olarak çok kısa köklere sahip dişler olarak tanımlanmıştır (19). İdiopatik genel kısa kök anomalisi son derece nadir olarak bildirilmiştir (20, 21). Diş köklerinin normalden kısa olması durumu tek ya da birkaç dişte birden, bazen de simetrik dişlerde görülebilir. Türk poplasyonunda yapılmış bir çalışmada kısa kök prevalansının %0,7 olduğu bildirilmiştir (22). Türkiye'deki ocuk poplasyonunda yapılan başka bir çalışmada ise %40 gibi yüksek bir oran bulunmuştur (23). Çoğunlukla st santral dişlerde, premolar ve 3. molar dişlerde ortaya çıktığı belirtilmiştir (24). alışmalar arasındaki bu fark, çalışmalarından yapıldığı örneklemin yaş ortalaması ve etnik, çevresel etkenlerden kaynaklanmış olabilir. Kök boyları kısa dişlerin varlığında, hastanın ağız bakım alışkanlıklarının öneminin hatırlatılması, detaylı şekilde bilgilendirilmesi ve düzenli aralıklarla kontrollere çağırılması klinik olarak önemlidir (23).

Alt molar dişler mezialde ve distalde birer olmak üzere iki köklüdür ve fazladan üçüncü kök varlığı klinik olarak önemli bir varyasyondur. Fazla olan kök molar dişin lingualinde ise radiks entomolaris, bukkalinde ise radiks paramolaris olarak adlandırılır (25). Türk toplumunda yapılan çalışmalarda üç ayrı kök grlme sıklığı alt birinci molar dişlerde %2,06-4,6; alt ikinci molar dişlerde ise %2,1-3,45 aralığında bildirilmiştir (26-29). Alt molar dişlerde radiks entomolaris, distal kökün arkasında kalarak iki boyutlu radyografilerde gözden kaçabilmektedir. Bu nedenle üçüncü kök varlığından şüphelenildiği zaman yatay aılı farklı röntgenler ya da üç boyutlu KIBT taramalarından yararlanılmalıdır (26)

Kök dilaserasyonu dişin kökünde meydana gelen açısal bir deformasyondur (30). Özellikle n bölgede travma kaynaklı olduğu

ancak diş germinin ektopik gelişiminin de sebep olabileceği düşünölmektedir (31, 32). Dilaserasyon üzerine yapılan bazı prevalans çalışmalarıda, %3,2 ile %17 arasında değişken sonuçlar bildirilmiştir (33, 34). Doğu Anadolu popölasyonunda yapılan bir çalışmada kök dilaserasyonu sıklığı %0,7 saptanmıştır (35). Üst 3. büyük azı dişinin en sık etkilenen diş olduğu bildirilirken cinsiyetler arasında fark bulunmamıştır. Dilaserasyon görölme sıklığı üst çenede daha fazla bulunmuştur. Karabulut ve ark. (36)'nın Kuzey Kıbrıs popölasyonunda panoramik radyografileri inceleyen çalışmalarıda %20,6'lık bir dilaserasyon prevalansı bildirilmiştir. Uslu ve ark. (9)'nın, panoramik ve periapikal radyografiler kullanarak Türk popölasyonu üzerinde yaptıkları çalışmada ise %3,2'lik bir dilaserasyon prevalansı bulunmuştur. Başka bir çalışmada, değerlendirilen hastaların %3,8'inde dilaserasyon gözlenirken molar bölgede anlamlı derecede daha yüksek oranlar bildirilmiştir (37). Türk toplumunda dilaserasyon sıklığı ile ilgili % 0,4 ve %0,02 gibi daha düşük oran bildiren çalışmalar da bulunmaktadır (3, 38).

Taurodontizm dikey olarak uzamış pulpa odası, pulpa tabanının apikal yönde yer değiştirmesi ve sement-mine birleşim seviyesinde daralma olmaması ile karakterize kök şekil anomalisidir (39). Taurodontizmin yaygınlığı ile ilgili yapılan çalışmalarda oran %0,02 ile %46,4 arasında değişken bildirilmiştir (40,41). Hem çocuk hem yetişkin türk popölasyonunu inceleyen bir çalışmada taurodontizm prevalansı %7,34 bildirilmiştir (42). Kök gelişimi devam eden daimi dişlerde taurodontizmin teşhisi zor olabildiğinden 20 yaşın altındaki kişilerde taurodontizmin yaygınlığının daha düşük olabileceği düşünölmektedir (12). Türk popölasyonunda yapılan başka bir çalışmada taurodontizm %0,1 bulunmuş ve tüm vakalar azı dişlerinde görölürken çeneler arasında dağılım benzer bildirilmiştir (12).

C-şekilli kanallar, kök kanallarında rastlanan başka bir farklılıktır. Meydana gelmesinde en sık kabul edilen teori, Hertwig epitel kök kılıfının kısmi kaynaşmasıdır; bununla birlikte başka teoriler de ortaya atılmıştır (43). Hayvan modelleri üzerinde yapılan çalışmalar, farelerin 5. kromozomunda yer alan bir genin C-şekilli kanalların gelişiminden sorumlu olabileceğini ortaya koymuştur (44). Klinik uygulamanın temizleme ve şekillendirme aşamasında kök perforasyonunu önlemek için, klinisyenler ince dentin duvarının farkında olmalıdır (45). Temizleme ve şekillendirme protokolü, etkili debridman için kanalın sonik veya ultrasonik irrigasyon aktivasyonu ile desteklenmelidir (46). C şekilli kanalların çift taraflı simetri gösterebilmesi, klinisyenlerin kontralateral morfolojiyi önceden tahmin etmelerini sağlayarak erken teşhis ve tedavi planlamasına yardımcı olur (47). Geleneksel 2 boyutlu radyografinin karmaşık kök kanal anatomisindeki yetersizlikleri göz önüne alındığında KIBT gerekliliği dikkate alınmalıdır (47).

Çok köklü dişlerde köklerin kaynaşması kök füzyonu olarak tanımlanmaktadır (17). Geminasyon ise diş oluşumu sırasında diş germinin kısmi bölünmesinin meydana geldiği ve genellikle tamamen ayrılmamış, çift veya ikiz kronlu bir dişin oluşmasına yol açan bir bozukluk olarak tanımlanmaktadır, geminasyonda radyografide ortak bir kök ve pulpa boşluğu görülmektedir (48). Füzyon yaygınlığı ile ilgili çalışmalar değerlendirildiğinde %0,0 ile %0,8 arasında oranlar bildirilmiştir (1, 11). Bu sonuçlara benzer şekilde Türk popülasyonunda yapılmış bir çalışmada füzyonun yaygınlığı %0,004 olarak bulunmuştur (12). Hem çocuk hem yetişkin popülasyonu inceleyen bir çalışmada füzyon ve geminasyonu sıklığı %0,12 bildirilmiştir (42). Benzer şekilde başka bir çalışma geminasyon görülme sıklığını %0,18 olarak bulmuştur (49). Şekerci ve ark. Kapadokya bölgesinde panoramik radyografileri inceledikleri çalışmalarında ikiz dişlerin (füzyon ve geminasyon) prevalansını %0,29 olarak bildirmişlerdir (50).

Karabulut ve ark. (36) Kuzey Kıbrıs popülasyonunda panoramik radyografileri inceledikleri çalışmalarında füzyon sıklığını %0,1 olarak bildirmişlerdir. Yalnızca kök kanal anolamalilerinin incelendiği çalışmada ise füzyon sıklığı %0,08 olarak bulunmuştur (51) Akdeniz bölgesinde yapılan başka bir çalışmada en az görülen diş anomalisi alt tipleri %0,2 oran ile füzyon/geminasyon, odontodisplazi ve aksesuar kök olarak bildirilmiştir (52).

Dens invajinatus diş dokularının kalsifikasyonundan önce mine organının diş papillasına doğru içe doğru kıvrılmasıyla sonuçlanan gelişimsel anomali olarak tanımlanmaktadır (53). Nadir olmasına rağmen karmaşık iç anatomisi nedeniyle endodontik ve periodontal tedaviyi önemli ölçüde zorlaştırabilir (54). Oehlers tarafından 1957'de tanıtilan sınıflandırma sistemi, dens invajinatusu üç farklı tipe ayırmak için yaygın olarak kullanılmaya devam etmekte ve klinisyenlere tedavi planlaması ve prognoz konusunda yardımcı olmaktadır. Tip I, kron bölgesiyle sınırlıdır ve daha az komplikasyona neden olur. Tip II, köke doğru uzanır ancak kör uçlu bir invajinasyon olarak kalır. Tip III, en şiddetli formdur, kök boyunca tamamen uzanır ve potansiyel olarak periodontal veya periapikal tutulumu yol açabilir. Dens invajinatus tipinin doğru tanımlanması, tedavi planlaması ve prognoz için çok önemlidir (55). Bildirilen yaygınlık oranı %0,47 ile %6,7 arasında değişmekle birlikte (56), Türk popülasyonunda yapılan çalışmalarda dens invajinatusun görülme sıklığı %0,17 ile %2,54 arasında değişmektedir (14, 51, 57, 58). Türk popülasyonunda yapılmış bazı çalışmalarda %0,02 ve %0,09 gibi düşük oranlar da bildirilmiştir (12, 49). Bu durumun yapısal anomalilerin radyografilerde tespit edilmesinin zor olmasından kaynaklanabileceği belirtilmiştir (12). Aynı çalışmada dentinogenezis imperfekta, dentin displazisi ve odontodisplaziya ise hiç rastlanmamıştır; ilgili anomalilerin genel sıklığının da oldukça düşük olmasının bu sonuçta etkili olabileceği bildirilmiştir (12). Türkiye'nin batı Karadeniz bölgesindeki

popülasyonda yapılan bir çalışmada ise dens invajinatus sıklığı %7,07 bildirilmiştir (59). Kadınlardaki prevalansı erkeklere göre anlamlı derecede daha yüksek bulunmuştur (59). Üst çene yan kesici dişleri ağırlıklı olarak etkilenmiş, alt çenede herhangi bir tutulum gözlenmediği bildirilmiştir. Klinik komplikasyonlardan kaçınmak için dens invajinatus vakalarında rutin radyografik tarama önerilir. Ayrıca, bu malformasyonun sıklıkla iki taraflı görülmesi nedeniyle, karşı taraftaki dişlerin de klinik muayeneye dahil edilmesi gerekliliği vurgulanmıştır (59).

Trakya alt popülasyonunda yapılan bir çalışmada şekil anomalileri içinde en sık görülen anomali tipinin taurodontizm, 2. en sıklıkla görülenin diğer kök anomalileri olduğu bildirilmiştir (23). Diğer kök anomalilerini ise premolar diş kökünün 1/3'lük kısmında 2'ye ayrılması, tek köklü alt molar diş bulgusu ve lateral dişlerin kök ucunun fazla kıvrılması oluşturmuştur (23). Dens invajinatus olgularının ise, sadece maksillada görüldüğü, etkilenen dişin %85,7 oranında lateral kesiciler olduğu bildirilmiştir (23). Kıbrıs popülasyonunda yapılan başka bir çalışmada taurodont diş görülme sıklığı %20 olarak bildirilmiştir (60). En sık etkilenen dişler sırasıyla üçüncü molarlar, ikinci molarlar (%12,3) ve birinci molarlar (%3,36) olarak saptanmıştır (60). Bu yüksek oranın sebebinin 3. molarların değerlendirmeye alınması olabileceği düşünülmektedir. Türk popülasyonundaki kök anomalilerinin KIBT ile incelendiği bir çalışmada en sık tespit edilen anomaliler taurodontizm (%4,1), radix molaris (%3,3), dilasasyon (%3), dens invaginatus (%0,17) ve füzyon (%0,08) olarak bildirilmiştir (51).

Çocuk hastalarda anne, doğum öncesi ve doğum sonrası faktörlerin taurodontizm ile ilişkisinin incelendiği başka bir türk çalışmasında taurodontizimli çocuklarda en sık görülen sistemik durumun kalp hastalığı olduğu bildirilmiştir (61). Ayrıca ikiden fazla taurodontik dişin varlığının gebelik sırasında annenin sigara içmesi, daha fazla kardeş sayısı, cinsiyet ve akraba evliliği gibi çeşitli

faktörler arasında anlamlı ilişkiler saptanmıştır (61). Bu çalışmanın sonuçları, diş anomalilerinin klinik değerlendirmesinde bu değişkenlerin dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır (61).

Bazı araştırmacılar diş anomalilerinin görülme sıklığında cinsiyetler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bildirirken, diğerleri anlamlı bir fark olmadığını bildirmiştir. (8, 36, 51). Türk çocuk popülasyonunda yapılan bir çalışma dens invaginatus (%0,03), dilaserasyon (%0,02), dentinogenezis imperfekta (%0,02) gibi kökü ilgilendiren anomalilere daha nadir rastlandığını bildirmiştir (3). Farklılıkların örnek seçimi, örnek boyutu ve hasta seçimi alanı gibi nedenlere bağlı olabileceği düşünülmüştür (3).

Kök kanal anomalileriyle ilgili literatür bulguları incelendiğinde sonuçlardaki geniş aralıkların birçok nedeni olabileceği bildirilmiştir. Sebepler arasında, coğrafi faktörlerin ve genetik faktörlerin etkisinin önemi vurgulanmıştır. Ayrıca yapılan çalışmaların örneklemindeki etnik farklılıklar, yerel çevresel etkiler, örneklem popülasyonundaki farklılıklar, örnekleme teknikleri, tanı yöntemleri gibi yöntemsel farklılıklar ve çalışmalarda kullanılan kriterlerin sonuçları etkileyebileceği düşünülmüştür (12). Ayrıca ırksal farklılıklar, beslenme, fırçalama alışkanlıkları, diş hekimliği hizmetine ulaşabilme imkanı gibi faktörler de sonuçların değişkenliğinin nedenlerinden sayılabilir. Örneğin dental anomalili hastalar sıkça ortodontik tedaviye gereksinim duymaktadır, bu yüzden ortodontik tedavi için başvuran hasta grubunda yapılan çalışmalarda, doğal olarak dental anomali saptanma olasılığı daha yüksek bildirilmektedir (2). Bu gibi faktörler incelenen çalışmalardaki sonuçları değiştirebilir.

SONUÇ

Dişlerin hem normal hem de anormal anatomisinin bilinmesi, kök kanal tedavisi prosedürlerini belirler ve tedavi başarısı olasılığını doğrudan etkileyebilir. Bu anomalilerin kanal tedavisi öncesinde veya sırasında uygun radyografik yöntemlerle tespit edilmesi önerilir. Toplumların kendilerine özgü yapılan bu anormali çalışmaları, diş hekimlerinin o bölgede en sık karşılaşılan anormali tiplerinin prevalansını bilmesine katkıda bulunacak ve hastaların tedavilerinin doğru planlanmasının yanı sıra dental anomaliler hakkında bilgilendirilmelerini de sağlayabilecektir.

Kaynakça

1. Bilge NH, Yeşiltepe S, Ağırman KT, Çağlayan F, Bilge OM. Investigation of prevalence of dental anomalies by using digital panoramic radiographs. *Folia morphologica*. 2018;77(2):323-8.
2. Celebi F, Taşkan MM, Turkal M, Turkal H, Holoğlu F. Dental anomaly prevalence in middle black sea population. *Cumhuriyet Dent J*. 2015;18(4):343-50.
3. Almaz ME, Sönmez IŞ, Oba AA. Prevalence and distribution of developmental dental anomalies in pediatric patients. *Meandros Medical and Dental Journal*. 2017;18(2):130-3.
4. Bu X, Khalaf K, Hobson RS. Dental arch dimensions in oligodontia patients. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*. 2008;134(6):768-72.
5. Dressler S, Meyer-Marcotty P, Weisschuh N, Jablonski-Momeni A, Pieper K, Gramer G, et al. Dental and Craniofacial Anomalies Associated with Axenfeld-Rieger Syndrome with PITX2 Mutation. *Case Reports in Medicine*. 2010;2010(1):621984.

6. Yassin OM, Rihani FB. Multiple developmental dental anomalies and hypermobility type Ehlers-Danlos syndrome. *J Clin Pediatr Dent.* 2006;30(4):337-41.
7. Shrestha A, Marla V, Shrestha S, Maharjan IK. Developmental anomalies affecting the morphology of teeth—a review. *RSBO Revista Sul-Brasileira de Odontologia.* 2015;12(1):68-78.
8. Altug-Atac AT, Erdem D. Prevalence and distribution of dental anomalies in orthodontic patients. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics.* 2007;131(4):510-4.
9. Uslu O, Akcam MO, Evirgen S, Cebeci I. Prevalence of dental anomalies in various malocclusions. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics.* 2009;135(3):328-35.
10. Versiani MA, Silva EJ, Souza E, De Deus G, Zuolo M. Managing canal anatomies in the context of shaping for cleaning proposal. *Shaping for Cleaning the Root Canals: A Clinical-Based Strategy: Springer;* 2021. p. 295-370.
11. Yassin SM. Prevalence and distribution of selected dental anomalies among saudi children in Abha, Saudi Arabia. *Journal of clinical and experimental dentistry.* 2016;8(5):e485.
12. Büyükgöze-Dindar M, Tekbaş-Atay M. Prevalence of dental anomalies assessed using panoramic radiographs in a sample of the Turkish population. *Chin J Dent Res.* 2022;25(3):189-96.
13. Topal BG, Tıraş M. Diş Köklerini Etkileyen Gelişimsel Anomaliler. *Dental and Medical Journal-Review.*2(3):111-26.
14. KELEŞ A, Ocak MS, Bulut ET, ALTUN O, Akbulut Ö. İnönü Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesine başvuran yetişkin bir popülasyonda diş gelişim bozukluklarına sahip bireylerin oranı:

bir retrospektif çalışma. *Turkiye Klinikleri Journal of Dental Sciences*. 2012;18(3):264-8.

15. Patel S, Dawood A, Ford TP, Whaites E. The potential applications of cone beam computed tomography in the management of endodontic problems. *International endodontic journal*. 2007;40(10):818-30.

16. Büyükbayram IK, Sübay RK, Çolakoğlu G, Elçin MA, Sübay MO. Investigation using cone beam computed tomography analysis, of radicular grooves and canal configurations of mandibular premolars in a Turkish subpopulation. *Archives of oral biology*. 2019;107:104517.

17. Zhang Q, Chen H, Fan B, Fan W, Gutmann JL. Root and root canal morphology in maxillary second molar with fused root from a native Chinese population. *Journal of Endodontics*. 2014;40(6):871-5.

18. Patil SR, Maragathavalli G, Araki K, Al-Zoubi IA, Sghaireen MG, Gudipani RK, et al. Three-rooted mandibular first molars in a Saudi Arabian population: a CBCT study. *Pesqui Bras Odontopediatria Clin Integr*. 2018;18(1):4133.

19. Daley TD, Wysocki GP, Bohay RN. Osteopathia striata, short stature, cataracts, and microdontia: a new syndrome? A case report. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 1996;81(3):356-60.

20. Silverman NE, Ackerman JL. Oligodontia: a study of its prevalence and variation in 4032 children. *ASDC J Dent Child*. 1979;46(6):470-7.

21. Desai RS, Vanaki SS, Puranik RS, Rashmi GS, Nidawani P. An unusual combination of idiopathic generalized short-root anomaly associated with microdontia, taurodontia, multiple

dens invaginatus, obliterated pulp chambers and infected cyst: a case report. J Oral Pathol Med. 2006;35(7):407-9.

22. Aren G, Guven Y, Guney Tolgay C, Ozcan I, Bayar OF, Kose TE, et al. The prevalence of dental anomalies in a turkish population. J Istanbul Univ Fac Dent. 2015;49(3):23-8.

23. Özveren N, Atay MT. Trakya Bölgesi'ndeki Çocuk Hastalarda Görülen Dental Anomali Tipleri ve Prevalansları. Türkiye Klinikleri Journal of Dental Sciences. 2020;26(3).

24. Michelogiannakis D, Vastardis H, Melakopoulos I, Papathanasopoulou C, Tosios KI. The challenge of managing patients with generalized short root anomaly: A case report. Quintessence International. 2018;49(8).

25. Nagaven NB, Umashankara KV. Radix entomolaris and paramolaris in children: a review of the literature. J Indian Soc Pedod Prev Dent. 2012;30(2):94-102.

26. Taşsöker M, Güleç M. Mandibular molar dişlerde radiks entomolaris ve paramolaris sıklığı: Retrospektif KIBT analizi. Sencuk Dental Journal. 2019;6(4):60-4.

27. Ahmetoğlu F, Altun O, Şimşek N, sinan Ocak M, Dedeoğlu N. Türkiye'nin doğu bölgesi nüfusundaki mandibular molar dişlerin kök ve kanal yapılarının konik ışınlı bilgisayarlı tomografi ile değerlendirilmesi. Cumhuriyet Dental Journal. 2014;17(3):223-34.

28. Demirbuga S, Sekerci AE, Dinçer AN, Cayabatmaz M, Zorba YO. Use of cone-beam computed tomography to evaluate root and canal morphology of mandibular first and second molars in Turkish individuals. Medicina oral, patologia oral y cirugia bucal. 2013;18(4):e737.

29. Miloglu O, Arslan H, Barutçigil C, Cantekin K. Evaluating root and canal configuration of mandibular first molars

with cone beam computed tomography in a Turkish population. *Journal of Dental Sciences*. 2013;8(1):80-6.

30. Chohayeb AA. Dilaceration of permanent upper lateral incisors: frequency, direction, and endodontic treatment implications. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1983;55(5):519-20.

31. Andreasen JO, Ravn JJ. The effect of traumatic injuries to primary teeth on their permanent successors. II. A clinical and radiographic follow-up study of 213 teeth. *Scand J Dent Res*. 1971;79(4):284-94.

32. Chadwick SM, Millett D. Dilaceration of a permanent mandibular incisor. A case report. *Br J Orthod*. 1995;22(3):279-81.

33. Hamasha A, Al-Khateeb T, Darwazeh A. Prevalence of dilaceration in Jordanian adults. *International endodontic journal*. 2002;35(11).

34. Ezoddini AF, Sheikha M, Ahmadi H. Prevalence of dental developmental anomalies: a radiographic study. *Community dental health*. 2007;24(3):140-4.

35. Karatas E, Topçuoğlu HS, Arslan H, Erdogan S, Ezmeci EB. Prevalence of root dilacerations in an east anatolian endodontic patient population/bir dogu anadolu endodontik hasta populasyonunda dilaserasyon yayginligi. *Turkiye Klinikleri Dishekimligi Bilimleri Dergisi*. 2012;18(1):28.

36. Karabulut DCC, Er F, Orhan K, Solak H, Karabulut B, Aksoy S, et al. Rate of individuals with tooth development anomalies in the adult population admitting to dental faculty in the Northern Cyprus Turkish Republic. *Gülhane Tıp Dergisi*. 2011;53(3):154.

37. Gurbuz O, Ersen A, Dikmen B, Gumustas B, Gundogar M. The Prevalence and Distribution of the Dental

Anomalies in the Turkish Population. Journal of the Anatomical Society of India. 2019;68(1):46-51.

38. Bodrumlu EH, Tazegül FS. Prevalence of selected dental anomalies in children and adolescents in Turkey. Tanta Dental Journal. 2022;19(3):153-6.

39. Jafarzadeh H, Azarpazhooh A, Mayhall J. Taurodontism: a review of the condition and endodontic treatment challenges. International endodontic journal. 2008;41(5):375-88.

40. Aren G, Güven Y, Tolgay CG, Ozcan İ, Bayar ÖF, Kose TE, et al. The prevalence of dental anomalies in a Turkish population. Journal of Istanbul University Faculty of Dentistry. 2015;49(3):23-8.

41. Gupta SK, Saxena P, Jain S, Jain D. Prevalence and distribution of selected developmental dental anomalies in an Indian population. Journal of oral science. 2011;53(2):231-8.

42. Gokcek M, Cirakoglu NY. Determination of the prevalence of dental anomalies by digital panoramic radiography analysis. Medicine Science. 2021;10(4).

43. Fernandes M, De Ataide I, Wagle R. C-shaped root canal configuration: A review of literature. Journal of Conservative Dentistry and Endodontics. 2014;17(4):312-9.

44. Tashima I, Arita K, Asada Y. Genetic study of gutter-shaped root (GSR) in AKXL RI mouse strains using QTL analysis. Journal of Oral Science. 2010;52(2):213-20.

45. Fan B, Ye W, Xie E, Wu H, Gutmann J. Three-dimensional morphological analysis of C-shaped canals in mandibular first premolars in a Chinese population. International endodontic journal. 2012;45(11):1035-41.

46. Viana FLP, Souza TA, Sampieri MBS, Vasconcelos BC. Endodontic treatment of hypertaurodontic teeth with anatomical variations. *General dentistry*. 2021;69(2):64-8.
47. Pertek Hatipoğlu F, Magat G, Karobari MI, Buchanan GD, Kopbayeva M, Taha N, et al. Multinational cross-sectional study and meta-analysis on radicular grooves, C-shaped canals, and taurodontism in mandibular first premolars across 20 countries. *Scientific reports*. 2025;15(1):17974.
48. American Association of Endodontics. Glossary of terms. 2016.
49. Arslan ZB, Yıldız DB, Yaşar F. Dental anomali görülme sıklığının digital panoramik radyografi ile değerlendirilmesi. *Selcuk Dental Journal*. 2019;6(3):359-65.
50. Sekerci AE, Sisman Y, Yasa Y, Sahman H, Ekizer A. Prevalence of fusion and gemination in permanent teeth in Coppadocia region in Turkey. *Pakistan Oral and Dental Journal*. 2011;31(1).
51. Özdemir A, Ocak MS. Determination of the Incidence and Types of Tooth Development Anomalies Using Cone Beam Computed Tomography. *Current Research in Dental Sciences*. 2025;35(4):295-9.
52. Sendisci GOK R, Tercanlı ALkış H. EVALUATION OF DENTAL ANOMALY PREVELANCE AND TYPES BY CONE BEAM COMPUTED TOMOGRAPHY IN A SUBGROUP OF TURKISH POPULATION. *Journal of Oral Health and Oral Epidemiology*. 2024;12(4):183-8.
53. Alani A, Bishop K. Dens invaginatus. Part 1: classification, prevalence and aetiology. *Int Endod J*. 2008;41(12):1123-36.

54. Alani A, Bishop K. Dens invaginatus. Part 1: classification, prevalence and aetiology. *International Endodontic Journal*. 2008;41(12):1123-36.

55. Oehlers FAC. Dens invaginatus (Dilated composite odontome): II. Associated Posterior Crown Forms and Pathogenesis. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*. 1957;10(12):1302-16.

56. Baron C, Houchmand-Cuny M, Enkel B, Lopez-Cazaux S. Prevalence of dental anomalies in French orthodontic patients: A retrospective study. *Archives de Pédiatrie*. 2018;25(7):426-30.

57. Cakici F, Celikoglu M, Arslan H, Topcuoglu H-S, Erdogan A-S. Assessment of the prevalence and characteristics of dens invaginatus in a sample of Turkish Anatolian population. *Medicina Oral Patología Oral y Cirugía Bucal*. 2010;15(6).

58. Gündüz K, Çelenk P, Canger EM, Zengin Z, Sümer P. A retrospective study of the prevalence and characteristics of dens invaginatus in a sample of the Turkish population. *Medicina oral, patologia oral y cirugía bucal*. 2012;18(1):e27.

59. Aksoy Çahoğlu D, Koçak S, Geduk G. Prevalence and distribution of dens invaginatus in the western black sea region of Turkey: a retrospective radiographic study. *Scientific Reports*. 2025;15(1):38449.

60. Kırmızı D, Aksoy U, Aksoy S, İnönü N, Orhan K. Evaluation of Taurodont and Pyramidal Mandibular Molars Prevalence in a Group of Turkish Cypriot Population by Cone Beam Computed Tomography. *Cyprus Journal of Medical Sciences*. 2025.

61. Ozgur OM, Seyma M, Aynur K, Nazan KT. Taurodontism and related dental anomalies: influence of maternal, prenatal, and postnatal factors in pediatric patients. *BMC Oral Health*. 2025;25(1):1526..

BÖLÜM 2

Pulpal ve Periradiküler Hastalıkların Tanısal Sınıflandırılması: Tarihsel Gelişim ve Güncel Konsensus

1. GAMZE EBRAR NALBANT¹

Giriş

Pulpayı ve periradiküler dokuları ilgilendiren hastalıkların tedavi edilmesi bu hastalıkların doğru sınıflandırılmasına bağlıdır. Tarihte pulpa hastalıkları ve tedavi yöntemleri çeşitli şekillerde sınıflandırılarak anlatılmıştır (Louis I. Grossman, 1984; Hopewell-Smith, 1923). Pulpal hastalıkların sınıflandırılmasında, histolojik incelemeler gibi laboratuvar bulgularının kullanılması hem kolay bir yöntem olmaması hem de teşhis ve tedavi sürecini geciktireceğinden, hastalık sınıflaması yapılırken klinik bulgular ve semptomlar dikkate alınır (Berman ve Hargreaves, 2020).

1830'lu yıllarda Harris, mevcut tek periradiküler hastalık olarak alveol absesini zaman zaman çok şiddetli, zaman zaman ise

¹ Arş. Gör., Kırıkkale Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, Orcid: 0009-0000-0783-9069

hafif ağrılı seyreden; ağrılı ve zonklayıcı bir hastalık olarak tanımlamıştır (Harris, 1839).

1906 yılında Tomes ve Nowell, genel iltihabi durumların özelliklerini belirterek, periostta meydana gelen lokalize iltihabı akut ve kronik periost iltihabı olarak sınıflandırmıştır. İlerleyen zamanlarda bu sınıflamaya septik ve septik olmayan terimleri de dahil olmuştur (Tomes ve Nowell, 1906).

1909 yılında Buckley periapikal doku hastalıklarının tedavi prensiplerini ve kullanabilecek ilaçları anlattığı makalesinde periapikal doku hastalıklarını steril perisementitis, enfekte perisementitis, akut alveolar apse ve perisemental apse olarak sınıflandırmıştır. Bu sınıflandırmada fistül yolu olan apseler de akut apikal apse seçeneğine dahil edilmiştir (Buckley, 1909).

1926 yılında Marshall, akut ve kronik terimlerini açıklamış ve akut ve kronik apse gelişimi arasındaki farkın hastanın bağışıklığına, organizmaların hastalık yapma kapasitesine ve doku yanıtına göre değiştiğini bildirmiştir (Marshall, 1926).

Grossmann 1950 yılında pulpa hastalıklarını:

- Akut Seröz Pulpa İltihabı
- Akut Süpüratif Pulpa İltihabı
- Kronik Ülseratif Pulpa İltihabı
- Kronik Hipertrofik Pulpa İltihabı sınıflandırmıştır.

Pulpa dejenerasyonlarını kalsifik, yağlı, fibröz ve atrofik olarak 4'e ayırmıştır. Periapikal doku hastalıklarını ise;

- Akut Apikal Periodontitis
- Akut Alveolar Apse
- Kronik Alveolar Apse

- Subakut Alveolar Apse
- Granülom
- Kist olarak sınıflandırmıştır (L.I. Grossman, 1950).

1970 yılında 270 dental pulpanın klinik özellikleri ve histopatolojik özelliklerinin karşılaştırılarak değerlendirildiği bir çalışmada, akademik olarak pulpa patolojilerini tanımlamak için klinik verilerin kullanımının hatalı olduğu, klinikte ortaya çıkan semptomlarla histopatolojik değerlendirme sonuçlarının birbirinden farklı olduğu bildirilmiştir. Aynı çalışmada; bilimsel çalışmalar için histolojik analizlerin laboratuvar ortamında yapılması gerektiği, ancak klinikte tedavi ihtiyaçlarının karşılanması için ise hasta semptomlarına bağlı ayrı bir sınıflamanın yapılması gerekliliğine dikkat çekilmiştir (Baume, 1970).

1984 yılında Seltzer ve Bender pulpa hastalıklarını sınıflandırırken, sağlıklı pulpayı sınıflamaya dahil etmemiş ve özelliklerinden bahsetmemişlerdir. Pulpa hastalıkları;

- Yeni Başlayan Kronik Pulpitis
- Akut Pulpitis
- Kısmi Nekrozla Görülen Kısmi Kronik Pulpitis
- Kısmi Sıvılaşma Nekrozuyla Görülen Total Kronik Pulpitis
- Hiperplastik Form Kronik Kısmi Pulpitis
- Pulpa Nekrozu
- Pulpa Dejenerasyonları şeklinde sınıflandırılmıştır (McClanahan ve Ordinola Zapata, 1984).

1984 yılında Smulson, diş pulpasının sağlıklı durumunu, histopatolojik yapısını, pulpanın uyarılar karşısında verdiği yanıtı,

kendini koruma mekanizmalarını açıklamıştır. Aynı çalışmada pulpa hastalıkları;

- Hiperaleji
- Ağrılı Pulpitis
- Ağrısız Pulpitis
- Kronik Ülseratif Pulpitis
- Çürüksüz Kronik Pulpitis
- Pulpa Polibi
- Pulpa Nekrozu şeklinde sınıflandırılmıştır (Smulson, 1984).

Tronstad 1992 yılında sağlıklı pulpadan iltihaplı pulpaya geçişe sebep olan durumları ve pulpanın savunma yanıtını açıklamış, pulpa hastalıklarının teşhisinde Lazer Doppler flowmetrenin önemini vurgulamıştır. Pulpa hastalıklarının ilerleyiş sınıflamasını; pulpa iltihabı, pulpa nekrozu ve kök kanalındaki bakteriler sebebiyle meydana gelen kemik rezorpsiyonu ve apikal granülom şeklinde belirtmiştir (Tronstad, 1992).

Dünya Sağlık Örgütü'nün 1995 yılında yayınladığı “Uluslararası Hastalık Sınıflandırmasının Diş Hekimliği ve Stomatolojiye Uygulanması” isimli rehberde, pulpa ve periapikal doku hastalıkları;

- Pulpa İltihabı
- Pulpa Nekrozu
- Pulpa Dejenerasyonu
- Pulpada Anormal Sert Doku Formasyonu
- Pulpa Kaynaklı Akut Apikal Periodontitis

- Kronik Apikal Periodontitis
- Sinüs Yoluyla Birlikte Görülen Periapikal Apse
- Sinüs Yoluyla Birlikte Görülmeyen Periapikal Apse
- Radiküler Kist
- Diğer Tanımlanmamış Pulpa ve Periapikal Doku Hastalıkları olarak sınıflandırılmıştır.

Pulpa iltihabı ise; başlangıç, akut, süpüratif, kronik, kronik ülseratif, kronik hiperplastik, diğer spesifik pulpa hastalıkları ve tanımlanmayan pulpa hastalıkları olarak sınıflandırılmıştır (“Application of the international classification of diseases to dentistry and stomatology”, 1995).

1998 yılında yayınlanan Pathways of the Pulp’ın 7. Baskısında pulpal doku hastalıkları tanımlanmadan önce sağlıklı pulpa dokusu ve özellikleri anlatılmış, sınıflandırma ise şu şekilde yapılmıştır;

- Kalsifik Metamorfoz
- Geri Dönüşlü Pulpitis
- Geri Dönüşümsüz Pulpitis (Semptomatik/ Asemptomatik)
- Hiperplastik Pulpitis
- İnternal Rezorbsiyon
- Kanal Kalsifikasyonu (Cohen, S ve Burns, R., 1998).

Torabinejad ve Walton 2002 yılında Endodontinin Prensipleri ve Uygulamaları isimli kitapta pulpal hastalıkları;

- Geri Dönüşümlü Pulpitis

- Geri Dönüşümsüz Pulpitis
- Hiperplastik Pulpitis
- Pulpa Kalsifikasyonları
- Pulpa Nekrozu

şeklinde sınıflandırırken pulpal patolojilerin ilerlemesiyle meydana gelen periradiküler doku hastalıklarını;

- Akut Apikal Periodontitis,
- Kronik Apikal Periodontitis
- Kondensing Osteitis
- Akut Apikal Apse
- Kronik Apikal Apse şeklinde sınıflandırmıştır (Walton ve Torabinejad, 2002).

Amerikan Endodontistler Birliği (AAE) 2003 yılında yayınladığı '*Glossary of Endodontic Terms*' terminoloji rehber kitabında pulpa hastalıkları için klinik tanı şu başlıklar altında toplanmıştır:

- Normal Pulpa
- Geri Dönüşümlü Pulpa İltihabı
- Semptomatik Geri Dönüşümsüz Pulpa İltihabı
- Asemptomatik Geri Dönüşümsüz Pulpa İltihabı
- Pulpa Nekrozu
- Daha Önce Tedavi Edilmiş Pulpa
- Daha Önce Tedaviye Başlanmış Pulpa (American Association of Endodontists, 2003).

2004 yılında Castellucci de pulpa hastalıklarını; sağlıklı pulpa, hiperemi aşaması, geri dönüşümsüz pulpitis ve pulpa nekrozu şeklinde sınıflandırmıştır (Castellucci, 2004).

2007 yılında Abbott vd., pulpal hastalıkların mevcut sınıflandırmalarının yetersiz kaldığı noktaları vurgulamıştır. Mevcut sınıflandırmaların mikroskopik ve histolojik laboratuvar bulgularına dayanması ancak klinik ortamda uygulanabilir olmaması yeni sınıflandırma ve hastalık tanımlama ihtiyacını doğurmuştur. Abbott vd., tedavi yöntemine rehberlik ederek klinisyenlere yardımcı olmak ve klinisyenler arasındaki tutarlılığı sağlamak için yeni sınıflama gereksinimi bildirmiştir (Abbott ve Yu, 2007).

2008 yılında yapılan bir başka sınıflandırma ise pulpa hastalıkları; hiperreaktif pulpalji, hipersensitivite, hiperemi, akut pulpalji, kronik pulpalji, hiperplastik pulpozis, pulpa nekrozu, pulpa rejenerasyonu ve internal rezorbsiyon şeklindedir (Ingle, Bakland ve Baumgartner, 2008).

2010 yılında Harty; sağlıklı pulpa, geri dönüşümlü pulpitis, geri dönüşümsüz pulpitis ve pulpa nekrozu olarak sınıflandırmıştır (Chong, 2010).

2015 yılında Okada vd., periapikal hastalıkların sınıflandırılmasında altın standart olarak histolojik biyopsi uygulamasının, klinikte cerrahi olmadan iyileşebilecek vakalar üzerindeki olumsuz etkisinden bahsetmiş ve teşhiste doğru sınıflandırmaya götürecek en önemli yöntem olarak konik ışınli bilgisayarlı tomografi kullanımını savunmuştur. Yazarlar bilgisayar destekli tanı sistemini, histopatolojik yöntemlerle karşılaştırmış ve bilgisayar destekli tanı sisteminin klasik yöntemlerle eşit seviyede başarılı olduğunu bildirmiştir (Okada, Rysavy, Flores ve Linguraru, 2015).

Hashem vd., 2015 yılında klinik semptomlara dayanarak sınıflandırmayı baz almışlardır. 15-20 saniye kadar süren,

kendiliğinden geçen soğuk sıcak hassasiyeti hafif geri dönüşümlü pulpitis, birkaç dakikadan uzun süren ağrı varlığı şiddetli geri dönüşümlü pulpitis ve perküsyon hassasiyetinin eşlik ettiği zonklayan keskin spontan ağrı geri dönüşümsüz pulpitis olarak belirtmişlerdir (Hashem ve diğerleri, 2015).

Wolters vd., 2017 yılında minimal invaziv tedavi seçenekleri önerdikleri yeni pulpa hastalıkları sınıflaması önermiştir. Bu sınıflamaya göre;

- Başlangıç Pulpitisi: perküsyon hassasiyeti ve spontan ağrının olmadığı, soğukta kısa süreli ağrılı yanıt veren pulpa iltihabı
- Hafif Pulpitis: tatlı, sıcak, soğuk gibi uyaranlara karşı 20 saniyeye kadar uzayabilen yanıt veren, perküsyonda hassasiyet gösterebilen pulpa iltihabı
- Orta Dereceli Pulpitis: etkene karşı dakikalarca sürebilen ağrılı yanıt veren, ağrısı analjeziklerle rahatlayabilen pulpa iltihabı
- Şiddetli Pulpitis: kendiliğinden başlayıp uzun süreli ağrısı olan, perküsyon ve palpasyonda ağrılı yanıt gösteren pulpa iltihabı olarak sınıflandırılmıştır.

Araştırmacılar; başlangıç ve hafif pulpitisin tedavisinde indirekt pulpa kuafajını, orta dereceli pulpitisin tedavisinde koronal pulpotomiyi, şiddetli periodontitisin tedavisinde ise kanama kontrolü sağlanabiliyorsa koronal pulpotomi, kanama kontrolü sağlanamıyorsa kök kanal tedavisini önermişlerdir (Wolters ve diğerleri, 2017a).

AAE 2020 yılında ‘*Glossary of Endodontic Terms*’ terminoloji rehber kitabının son güncellemesinde pulpa hastalıklarını klinik ve histolojik olarak sınıflandırmıştır. Klinik olarak pulpitisleri geri dönüşümlü ve geri dönüşümsüz olarak ikiye

ayırırken histolojik olarak pulpitisleri akut, kronik ve hiperplastik olarak üçe ayırmıştır. Geri dönüşümsüz pulpitisleri ise semptomatik ve asemptomatik olarak sınıflandırmıştır (American Association of Endodontists, 2020).

2023 yılında yayınlanan Avrupa Endodonti Derneği (European Society of Endodontology, ESE) klinik uygulama kılavuzunda pulpa hastalıkları semptomatik ve asemptomatik olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Semptomatik pulpa hastalıklarının şişlik, ağrı ve eşlik eden apikal periodontitisle ilişkili olduğu bildirilirken, kronik hastalığın ise radyografik muayenede gözlemlenen apikal lezyonla karakterize olduğu bildirilmiştir (Duncan ve diğerleri, 2023).

AAE; pulpitişi geri dönüşümlü ve geri dönüşümsüz pulpitisler olarak tanımlarken, gece ağrısı gibi semptomlar sonucu kök kanal tedavisi endikasyonu olan dişler geri dönüşümsüz pulpitis grubuna girmektedir (“AAE Consensus Conference Recommended Diagnostic Terminology”, 2009). Son yıllarda paylaşılan vaka raporları, klinik olarak geri dönüşümsüz pulpitis sınıflamasına dahil olan dişlerde başarılı vital tedavi sonuçları göstermiştir (Cushley ve diğerleri, 2019; Elmsmari ve diğerleri, 2019). Vital pulpa tedavilerinin bu dişlerde başarılı sonuç vermesi, farklı klinik semptomlar gösteren pulpanın, çürük dokusunun derinliği ve mevcut bakterilerin aktivitesinden geri dönüşümlü olarak etkilenebileceğini göstermektedir (Duncan ve diğerleri, 2023). Çeşitli yazarlar ‘geri dönüşümsüz’ kelimesinin pulpal hastalık sınıflandırmasında kullanılmaması gerektiğini belirtip yeni sınıflandırma yapılması gerektiğine dikkat çekmiştir (Galicía ve Peters, 2021; Rechenberg ve Zehnder, 2020; Wolters ve diğerleri, 2017b).

Karrar vd., 2025 yılında 92 hastayı dahil ederek yaptıkları çalışmada, Wolters (Wolters ve diğerleri, 2017a) ve AAE (“AAE Consensus Conference Recommended Diagnostic Terminology”, 2009) sınıflamalarına göre hastaları sınıflandırıp, tedavi sonrası 1

yıllık takiple sınıflandırmaların güvenilirliğini karşılaştırmıştır. Araştırmacılar çalışmada Wolters sınıflamasını çeşitli değişikliklerle geliştirmiştir. Çalışmanın sonuçları, revize edilmiş Wolters sınıflamasına uygun tedavi prosedürlerinin, geleneksel tedavi öneren AAE sınıflamasına göre dental pulpaların vitalitesini %87 oranında koruduğunu göstermiştir (Karrar ve diğerleri, 2025).

AAE ve ESE'nin 17 Temmuz 2025'te ortak yayınladığı son bildiride pulpa hastalıkları aşağıda verilen şekilde sınıflandırılmış ve çeşitli tedavi protokolleri önerilmiştir (American Association of Endodontists [AAE], 2025).

Klinik Sağlıklı Pulpa: Sağlam veya dolgu yapılmış diş. İki boyutlu radyografide pulpaya yakın olmayan başlangıç çürüğü bulunabilir. Pulpal testlere kontrol grubuyla aynı şekilde cevap verir. Periradiküler dokular sağlıklıdır. Ek tedavi protokollerine ihtiyaç duyulmaz (American Association of Endodontists [AAE], 2025).

Hipersensitif Pulpa: Pulpanın sağlıklı olduğu ancak dişeti çekilmesi, atrizyon, abrazyon gibi durumlara bağlı açığa çıkmış dentin tübülleri aracılığıyla pulpal yanıtın artmış olduğu durumdur. Termal uyaranlara orta veya hafif şiddette cevap verebilir. Pulpal testlere yüksek şiddetli ancak kısa süreli cevap verir. Periradiküler dokular sağlıklıdır. Hassasiyet giderme protokolleri uygulanabilir veya ek tedavi protokollerine ihtiyaç duyulmayabilir (American Association of Endodontists [AAE], 2025).

Hafif Pulpitis: Termal uyaranlara orta veya hafif şiddette cevap verebilir. Pulpal testlere hafif veya artmış cevap verebilir. İki boyutlu radyografide çürük pulpaya yakındır ancak arada dentin köprüsü bulunur. Periradiküler dokular sağlıklıdır. Travma sonrası meydana gelmiş hafif pulpitiste apikal dokularda yıkım görülebilir. Semptomların şiddetine bağlı olarak restoratif uygulamalar veya vital pulpa tedavileri gerekebilir (American Association of Endodontists [AAE], 2025).

Şiddetli Pulpitis: Termal uyaranlarla artan kendiliğinden ortaya çıkan belirtiler görülür. Pulpal testlere uzamış ağrılı yanıt verebilir. İki boyutlu radyografide pulpaya yakın çürük, apikal lezyon veya artmış radyoopasite görülebilir. Pulpotomi veya kök kanal tedavisi yapılabilir (American Association of Endodontists [AAE], 2025).

Pulpa Nekrozu: Pulpa dokusunun tamamı veya bir kısmı canlılığını yitirmiş olabilir. Pulpal testlere yanıt yoktur. Perküsyon ve palpasyon hassasiyeti bulunabilir. Apikal lezyon görülebilir. Rejeneratif endodontik tedavi ve kök kanal tedavisi uygulanabilir (American Association of Endodontists [AAE], 2025).

Belirsiz Pulpa: Kalsifikasyonlar, travma gibi nedenlerle pulpa testlerine yanıt alınamaz. Tedaviyi gerektirecek herhangi bir klinik semptom veya radyografik olarak apikal lezyon yoktur. Bu dişlerin yakından takibi gereklidir (American Association of Endodontists [AAE], 2025).

Son sınıflandırmaya rejeneratif endodontik tedavi uygulanmış dişler, kök kanal tedavisi başlanmış dişler ve önceden kök kanalı doldurulmuş dişler de dahil edilmiş, özellikleri ve hangi durumlarda tedavi gerektiği de belirtilmiştir. Periapikal hastalıklara ise yeni tanımlamalar eklenerek; apikal hipersensitivite, lokalize semptomatik apikal periodontitis, lokalize asemptomatik apikal periodontitis, fistülle birlikte görülen lokalize apikal periodontitis ve sistemik tutulumu olan apikal periodontitis olarak sınıflandırılmıştır (American Association of Endodontists [AAE], 2025).

Kaynakça

AAE Consensus Conference Recommended Diagnostic Terminology. (2009). *Journal of Endodontics*, 35(12), 1634-1634. doi:10.1016/j.joen.2009.09.035

Abbott, P. ve Yu, C. (2007). A clinical classification of the status of the pulp and the root canal system. *Australian Dental Journal*, 52(s1), S17-S31. doi:10.1111/j.1834-7819.2007.tb00522.x

American Association of Endodontists. (2003). *Glossary of Endodontic Terms*. AAE (7. bs.). <https://www.aae.org/specialty/clinical-resources/glossary-endodontic-terms/> adresinden erişildi.

American Association of Endodontists. (2020). *Glossary of Endodontic Terms*. AAE. <https://www.aae.org/specialty/clinical-resources/glossary-endodontic-terms/> adresinden erişildi.

American Association of Endodontists. (2025). *Pulpal and pulpal space diagnoses*. Chicago, IL: American Association of Endodontists. Erişim adresi: <https://www.aae.org>

Application of the international classification of diseases to dentistry and stomatology. (1995). İngiltere: World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9241544678> adresinden erişildi.

Baume, L. J. (1970). Diagnosis of diseases of the pulp. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 29(1), 102-116. doi:10.1016/0030-4220(70)90416-0

Berman, L. H. ve Hargreaves, K. M. (2020). *Cohen's Pathways of the Pulp - E-Book: Cohen's Pathways of the Pulp - E-Book*. Elsevier Health Sciences.

Buckley, J. (1909). *Modern dental materia medica, pharmacology and therapeutics*. P. Blakiston's Son & Company.

Castellucci, A. (2004). Pulpal Pathology. *Endodontics* içinde (C. 1, ss. 139-153). Florence: Il Tridente.

Chong, B. S. (2010). *Harty's Endodontics in Clinical Practice*. Elsevier Health Sciences.

Cohen, S ve Burns, R. (1998). *Pathways of the Pulp* (7. bs.). Scientific Research Publishing.
<https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=456956> adresinden erişildi.

Cushley, S., Duncan, H. F., Lappin, M. J., Tomson, P. L., Lundy, F. T., Cooper, P., ... El Karim, I. A. (2019). Pulpotomy for mature carious teeth with symptoms of irreversible pulpitis: A systematic review. *Journal of Dentistry*, 88, 103158. doi:10.1016/j.jdent.2019.06.005

Duncan, H. F., Kirkevang, L.-L., Peters, O. A., El-Karim, I., Krastl, G., Del Fabbro, M., ... ESE Workshop Participants and Methodological Consultant. (2023). Treatment of pulpal and apical disease: The European Society of Endodontology (ESE) S3-level clinical practice guideline. *International Endodontic Journal*, 56(S3), 238-295. doi:10.1111/iej.13974

Elmsmari, F., Ruiz, X.-F., Miró, Q., Feijoo-Pato, N., Durán-Sindreu, F. ve Olivieri, J. G. (2019). Outcome of Partial Pulpotomy in Cariously Exposed Posterior Permanent Teeth: A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Endodontics*, 45(11), 1296-1306.e3. doi:10.1016/j.joen.2019.07.005

Galicía, J. C. ve Peters, O. A. (2021). Proposal for a new diagnostic terminology to describe the status of the dental pulp. *International Endodontic Journal*, 54(8), 1415-1416. doi:10.1111/iej.13545

Grossman, L.I. (1950). *Root Canal Therapy* (3. bs.). Philadelphia: Lea & Febiger.
<https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=910015> adresinden erişildi.

Grossman, Louis I. (1984). A decade of endodontic progress. *International Endodontic Journal*, 100-105.

Harris, C. A. (1839). *The Dental Art: A Practical Treatise on Dental Surgery*. Armstrong & Berry.

Hashem, D., Mannocci, F., Patel, S., Manoharan, A., Brown, J. E., Watson, T. F. ve Banerjee, A. (2015). Clinical and radiographic assessment of the efficacy of calcium silicate indirect pulp capping: A randomized controlled clinical trial. *Journal of Dental Research*, 94(4), 562-568. doi:10.1177/0022034515571415

Hopewell-Smith, A. (1923). Some Observations on the Histology, Physiology and Pathology of the Dental Pulp. *Proceedings of the Royal Society of Medicine*, 16(Odontol_Sect), 58-71. doi:10.1177/003591572301601129

Ingle, J. I., Bakland, L. K. ve Baumgartner, J. C. (2008). *Ingle's endodontics 6* (6th ed.). Hamilton, ON, Maidenhead: BC Decker ; McGraw-Hill Education [distributor].

Karrar, R. N., Craig, S. G., Duncan, H. F., Abushouk, S. A., Elfiel, S. Y., Lundy, F. T., ... Group, R. A. (2025). Clinical validation of a proposed diagnostic classification for pulpitis. *International Endodontic Journal*, 58(8), 1158-1171. doi:10.1111/iej.14254

Marshall, J. (1926). *Diseases of the Teeth: Their Diagnosis and Treatment*. Lea & Febiger.

McClanahan, S. B. ve Ordinola Zapata, R. (Ed.). (1984). *Seltzer and Bender's dental pulp revisited* (Third edition.). Batavia, IL: Quintessence Publishing Co, Inc.

Okada, K., Rysavy, S., Flores, A. ve Linguraru, M. G. (2015). Noninvasive differential diagnosis of dental periapical lesions in cone-beam CT scans. *Medical Physics*, 42(4), 1653-1665. doi:10.1118/1.4914418

Rechenberg, D.-K. ve Zehnder, M. (2020). Call for a review of diagnostic nomenclature and terminology used in Endodontics. *International Endodontic Journal*, 53(10), 1315-1317. doi:10.1111/iej.13374

Smulson, M. H. (1984). Classification and diagnosis of pulpal pathoses. *Dental Clinics of North America*, 28(4), 699-723.

Tomes, J. ve Nowell, W. S. (1906). *A system of dental surgery*. Churchill.

Tronstad, L. (1992). Recent development in endodontic research. - EBSCO. *Scand J Dent Res*, (100), 52-9.

Walton, R. E. ve Torabinejad, M. (2002). *Principles and practice of endodontics* (3. ed.). Philadelphia, Pa.: Saunders.

Wolters, W. J., Duncan, H. F., Tomson, P. L., Karim, I. E., McKenna, G., Dorri, M., ... van der Sluis, L. W. M. (2017a). Minimally invasive endodontics: A new diagnostic system for assessing pulpitis and subsequent treatment needs. *International Endodontic Journal*, 50(9), 825-829. doi:10.1111/iej.12793

Wolters, W. J., Duncan, H. F., Tomson, P. L., Karim, I. E., McKenna, G., Dorri, M., ... van der Sluis, L. W. M. (2017b). Minimally invasive endodontics: A new diagnostic system for assessing pulpitis and subsequent treatment needs. *International Endodontic Journal*, 50(9), 825-829. doi:10.1111/iej.12793

BÖLÜM 3 İTERNAL İNFLAMATUAR KÖK REZORPSİYONU: DIŞIN BİLİNMEYEN REZORPSİYONU

Görkem Nork

Erzincan Ağız ve Diş Eğitim Araştırma Hastanesi, Endodonti, Erzincan, Türkiye

Orcid No: 0000-0002-9163-8717

E-mail Adresi: grkmn94@gmail.com

İnternal inflamatuvar kök rezorpsiyonu, kök kanalında başlayan ve çevredeki diş sert dokularını rezorbe eden nispeten nadir görülen bir rezorpsiyondur. Odontoklastik multinükleer hücreler, tedavi edilmezse kökü perfore edecek şekilde büyüyen rezorpsiyondan sorumludur. İnternal kök rezorpsiyonunu başlatan faktörün travma veya kronik pulpa iltihabı faktörler olduğu düşünülmektedir, ancak başka etiyolojik faktörler de öne sürülmüştür. Aktif, genişleyen rezorpsiyon, muhtemelen kök kanalının nekrotik koronal kısmından kaynaklanan vital pulpa doku ve sürekli mikrobiyolojik etkenler gerektirir. Klasik formunda, internal kök rezorpsiyonunun teşhis edilmesi kolaydır. Bununla birlikte, çoğu durumda kesin bir teşhis için gelişmiş teşhis yöntemleri gerekli olabilir. İnternal kök rezorpsiyonu genellikle asemptomatiktir, ancak perforasyon durumlarında genellikle bir sinüs yolu oluşur. Küçük internal kök rezorpsiyonunun tedavisi için prognoz çok iyidir. Bununla birlikte, diş yapısı büyük ölçüde zayıflarsa ve perforasyon meydana gelirse, prognoz kötüdür ve diş çekimi düşünülmelidir. Sodyum hipoklorit, ultrasonik enstrümantasyon ve kalsiyum hidroksit, internal inflamatuvar kök rezorpsiyonunun tedavisinin temel taşlarıdır. Mineral trioksit agregat, özellikle perforasyon durumlarında, kök kanal dolgu malzemesi olarak giderek daha fazla kullanılmaktadır.

GİRİŞ

İnternal (inflamatuvar) kök rezorpsiyonu, dental sert dokuyu rezorbe eden hem iyi bilinen hem de az bilinen bir hastalık patogenezi olarak karakterize edilebilir (Andreasen & Andreasen, 1994; Barclay, 1993; Fuss ve ark., 2003). Çoğu dişhekiminin "internal kök rezorpsiyon" tanısını tanıması anlamında iyi bilinmektedir. Bununla birlikte, internal inflamatuvar kök rezorpsiyonu nadirdir, etiyolojisi ve patogenezi sadece kısmen anlaşılmıştır ve sıklıkla yanlış bir şekilde internal rezorpsiyon olarak teşhis edilen servikal invaziv rezorpsiyon arasında önemli bir karışıklık vardır. Servikal rezorpsiyon ve eksternal inflamatuvar kök rezorpsiyonunun aksine, internal inflamatuvar kök rezorpsiyonu, ilerleyen kök kanal enfeksiyonu nedeniyle tüm kök kanalı pulpa dokusu nekrotik hale gelirse "kendi kendine" duracaktır. Doğru teşhis edildiğinde, internal inflamatuvar kök rezorpsiyonunun tedavisi, iyi veya hatta mükemmel prognoz ile nispeten

basittir. Ancak rezorpsiyonun kökü perfore ettiği durumlarda diş yapısı çok zayıflamış olabilir ve enfeksiyonun giderilmesi de daha zor olabilir.

FİZYOLOJİK REZORPSİYON

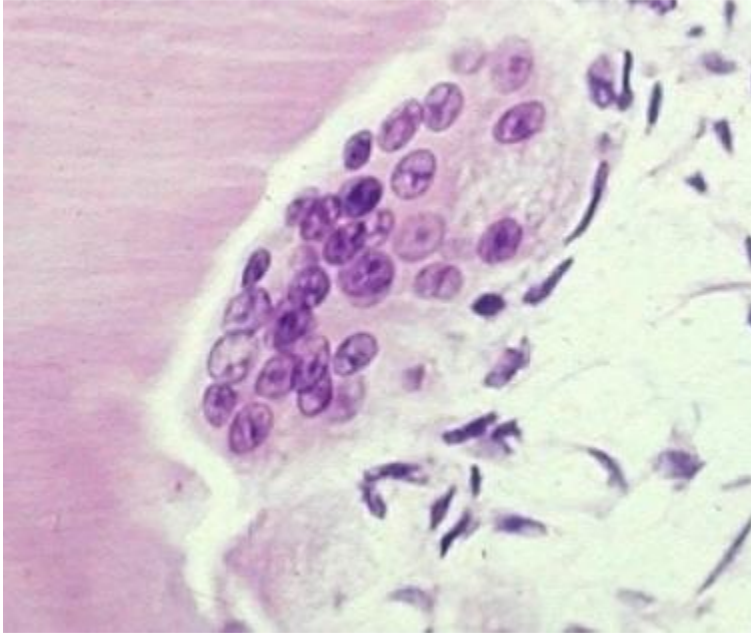
Rezorpsiyon, insan vücudundaki çok sayıda fizyolojik ve patolojik sürecin önemli bir parçasıdır. Rezorpsiyon, kemik ve diş sert dokuları gibi sert dokuları etkileyebilir (Takeda & Karsenty, 2001), ancak aynı zamanda yumuşak doku ve nekrotik pulpa dokusu veya apikal forameninden taşırılmış pulpa kaplama veya kök dolgusunda kullanılan materyalleri de içerebilir (Cox & Bergenholtz, 1986; Mjr ve ark., 1991; Watts & Paterson, 1981). Fizyolojik sert doku rezorpsiyonunun iyi bilinen bir örneği, kemik turnover'i olarak bilinen osteoklastik aktivite ile kemiğin rezorpsiyonudur. Paratiroid bezlerinin salgıladığı parathormon (PTH), kemiklerden kalsiyum salınımını içeren çeşitli yöntemlerle kandaki kalsiyum miktarını artırır (Locker, 1996). Patolojik olarak aşırı PTH üretimi, hiperparatiroidizm, fizyolojik kemik rezorpsiyonunda dengesizliğe neden olur rezorpsiyon-apozisyon döngüsü ve çenelerde radyolüsent hiperparatiroidizm lezyonlarına neden olabilir [bkz. (Keyser & Postma, 1996; Lanske & Kronenberg, 1998; Yonemura ve ark., 2000; Kanzawa ve ark., 2000)]. PTH ve PTH ile ilişkili peptit (PTHrP), spontan osteoklast oluşumunu indükler ve diş sürmesi için gereklidir (Philbrick ve ark., 1998; Nakchbandi ve ark., 2000). Süt dişlerinin rezorpsiyonu, fizyolojik rezorpsiyonun nispeten iyi karakterize edilmiş bir başka örneğidir (Sahara, 1998; Eronat ve ark., 2000). Daimi dişlerden gelen basınç, süt dişlerinin köklerinin rezorbe etmesi için itici güçtür. Daimi diş gelişim süreci dişi rezorpsiyondan korunurken, rezorpsiyonu primer olarak dişe ve kemiğe yönlendirmek için çeşitli aktive edici ve inhibe edici sitokinler ve diğer bileşikleri içeren hücresel seviyede karmaşık bir olay ağı gereklidir. Çeşitli fizyolojik rezorpsiyon tiplerinde enfekte (mikrobiyolojik) bileşen bulunmadığına dikkat etmek önemlidir.

SERT DOKULARI REZORBE EDEN HÜCRELER

Osteoklastlar kemiğin rezorpsiyonundan sorumlu multinükleer hücrelerdir, odontoklastlar ise diş sert dokularını rezorbe eden hücrelerdir (Sahara ve ark., 1992); (Sasaki, 2003); (Heithersay, 2004). Multinükleer hücreler, mononükleer hücrelerin füzyonu ile oluşturulur (Şekil 1). Üç boyutlu rekonstrüksiyon ile kullanan odontoklastların mikroskobik çalışmaları, birkaç mononükleer odontoklast öncül hücresinin birbirleriyle ve çok çekirdekli hücrelerle aynı anda füzyona girebileceğini göstermiştir (Domon ve ark., 1998). Mononükleer odontoklastlar ayrıca diş sert dokusunu aktif bir şekilde rezorbe edebilir, ancak progresif rezorpsiyon sırasında çoğu hücrenin birkaç çekirdeği vardır (Domon ve ark., 1998). Aktif olarak rezorpsiyon yapan mononükleer osteoklastlar da bildirilmiştir (Hattersley & Chambers, 1989). Domon ve ark. (Domon ve ark., 1997) rezorpsiyona uğrayan süt dişlerinde odontoklast başına ortalama çekirdek sayısının 5,3 olduğunu ve rezorbe hücrelerin yalnızca % 2,9'unun mononükleer olduğunu göstermiştir.

Hücre altyapısı üzerine yapılan karşılaştırmalı çalışmalar, dentin veya sementi rezorbe eden odontoklastların, mineyi rezorbe edenlere benzer olduğunu göstermiştir (Sahara ve ark., 1998). Kemik osteoklastlarına yakın benzerlikler de gösterilmiştir. İnsan geçici dişlerinde fizyolojik kök rezorpsiyonu sırasında osteoklastlarda ve odontoklastlardan resorptif süreç sırasında; asit fosfataz, katepsin K ve matriks metalloproteinaz-9'daki anahtar enzimler üzerine yapılan bir çalışma, bu moleküllerin iki hücre arasında ekspresyonunda hiçbir farklılık olmadığını bulunmuştur (Sasaki, 2003). Osteoklastlar ve odontoklastlar hakkındaki mevcut bilgilere dayanarak, bu hücreler arasında vücuttaki etki yerleri dışında herhangi bir fark görünmemektedir; kemik ve dişlerin hücresel rezorpsiyonunda ortak mekanizmayı paylaşırlar (Sasaki, 2003).

Şekil 1 Rezorbe olmuş dentin yüzeyinin yanında çok çekirdekli odontoklast hücrelerini gösteren histolojik bir örnek. Hematoksilen-eozin boyaması (Haapasalo & Endal, 2006)



OSTEOKLAST VE OSTEOKLASTİK AKTİVİTENİN REGULASYONU

Osteoklastlar, PTH'nin doğrudan bağlanması için bir reseptöre sahip değildir, bu nedenle osteoklastların PTH tarafından uyarılması dolaylı yoldan olmaktadır. PTH veya PTHrP osteoblastlara, yani kemik oluşturan hücrelere bağlanır ve osteoklast öncü hücrelerin RANK reseptörüne bağlanabilen 'Nükleer Faktör κ B Ligandının Reseptör Aktivatörü' (RANKL) ekspresyonunu artırır, ikincil haberciler yoluyla aktif osteoklastlar haline gelir (Nakchbandi ve ark., 2000). Osteoprotegerin (OPG), tümör nekroz faktörü (TNF) reseptör süper ailesinin salgılanan bir üyesi olan ve kemik döngüsünün düzenlenmesi dahil olmak üzere çeşitli biyolojik fonksiyonlara sahip olan bir glikoproteindir. OPG,

OPG ligandının osteoklastlar ve osteoklast öncüleri üzerindeki RANK reseptörü ile ilişkisini rekabetçi bir şekilde inhibe ederek osteoklastik kemik rezorpsiyonunun güçlü bir inhibitörüdür (Simonet ve ark., 1997; Komine ve ark., 2001; Smith ve ark., 2003). Fukushima ve ark. (Fukushima ve ark., 2003) periodontal ligament hücrelerinin, süt dişlerinin fizyolojik kök rezorpsiyonu sırasında RANKL eksprese ettiğini ancak OPG ekspresyonunu azalttığını bildirmişlerdir. RANKL geni odontoclastogeneze katılır ve fizyolojik kök rezorpsiyonunu aktive eder.

Yakın zamanda TNF-a'nın osteoklastların ve dentin rezorpsiyon kapasitesine sahip multinükleer hücrelerin gelişimine katkıda bulunduğu gösterilmiştir. Komine ve ark. (Komine ve ark., 2001), insan TNF-a'nın, uyarılmış osteoblastik hücre ortamının varlığında mononükleer preosteoklast benzeri hücrelerin (POC) oluşumunu belirgin şekilde uyardığını gösterdi. TNF-a ayrıca hematopoietik progenitör hücrelerin POC'lara farklılaşmasına yardımcı olur. İnsan TNF-a tarafından indüklenen POC, primer osteoblastlarla birlikte kültürlendikten sonra dentin resorbe etme aktivitesi gösteren multinükleer hücreler oluşturur. Son derece düşük TNF-a seviyeleri, kalsitonin reseptörü ve POC'lerin ürettiği katepsin-K için mRNA seviyesini artırmıştır (Komine ve ark., 2001). Hem RANKL hem de TNF-a'nın osteoklast gelişimi üzerindeki etkileri OPG(osteoprotogerin) tarafından inhibe edilir.

Osteoklast aktivasyonunda makrofaj koloni uyarıcı faktörün (M-CSF) rolü üzerine çalışmalar bir dereceye kadar çelişkili olmuştur. M-CSF'nin osteoblastlar tarafından osteoklastların aktivasyonunda rol oynamadığı öne sürülmüştür (Udagawa ve ark., 1999). Bununla birlikte, başka bir çalışmada, osteoblastlar tarafından üretilen M-CSF ve çözünür RANKL'ın osteoklast öncü hücre oluşumu ve osteoklast oluşumu için gerekli olduğu gösterilmiştir (Tsurukai ve ark., 2000). İlginç bir şekilde, fibroblast büyüme faktörü 2'nin (FGF-2) osteoklast farklılaşması / aktivasyonu üzerinde ikili bir etkiye sahip olduğu gösterilmiştir (Chikazu ve ark., 2001). Osteoblastların ve kemik iliği hücrelerinin ortak kültür sisteminde, FGF-2 osteoklast oluşumunu uyarmıştır. FGF-2'nin osteoklast oluşumu üzerindeki etkisi, OPG (osteoprotogerin) ve ilginç bir şekilde ayrıca siklo-oksijenaz 2 (COX-2) inhibitörü tarafından inhibe edilir; bu, FGF-2'nin osteoklastları kısmen prostaglandin üretimi ile uyardığını gösterir. Bununla birlikte, FGF-2 ayrıca M-CSF sinyallemesine karşı koyarak osteoklast öncüleri üzerinde doğrudan inhibe edici bir etki gösterir (Chikazu ve ark., 2001). Prostaglandin E2, osteoblastlarda RANKL haberci üzerinden RNA üretimini düzenleyerek osteoklast aktivasyonunu uyarır (Udagawa ve ark., 1999).

Bir dizi başka maddenin de osteoklast aktivitesini düzenlediği gösterilmiştir. Çok çekirdekli dev hücrelerin aktivatörleri / uyarıcıları arasında PTH, PTHrP, interlökin (IL) -1, IL-6 ve IL-11, trombosit kaynaklı büyüme faktörü (PDGF), 1,25 hidroksi vitamin D3 (kolekalsiferol), glukokortikoidler ve P maddesi (31– 43), kalsitonin, östrojen, interferon, IL-4, IL-8, IL-10, IL-18 ve kortikosteroidler osteoklast / odontoclast hücrelerinin

inhibisyonunda rol alırken (Zaidi ve ark., 1991; Oursler ve ark., 1993; Shioni ve ark., 1991; Fuller ve ark., 1995; Burger & Dayer, 1995; Udagawa ve ark., 1997; Suda ve ark., 1983; Pierce & Lindskog, 1987).

Mikrobiyal enfeksiyonun neden olduğu enflamasyon, çeşitli progresif rezorpsiyon türlerinde ana faktör olarak kabul edilir. Bununla birlikte, tek tek mikroorganizmaların rolü yeterince çalışılmamıştır. Choi ve arkadaşları (Choi ve ark., 2005), üç potansiyel periodontal patojenden, *Treponema denticola*, *Treponema socranskii* ve *Porphyromonas gingivalis*'ten gelen bakteriyel sonikatın, fare calvariası(kafatası kemiği) kaynaklı osteoblastların ve kemik iliği hücrelerinin kok kültür sisteminde osteoklast oluşumunu indüklediğini bildirdi. Sonikatlar, RANKL ve prostaglandin E2'nin ekspresyonunu arttırdı ve osteoblastlarda OPG ekspresyonunu azalttı. OPG'nin eklenmesi, bakteriyel sonikatlar tarafından uyarılan osteoklastogenezi tamamen bastırdı.

Artmış RANKL üretimi ve osteoklastogenezin uyarılması, PDL hücrelerinin *Prevotella intermedia*'nın tüm hücreleri veya *P. nigrescens*'ten kaynaklı lipopolisakkarit ile inkübe edilmesiyle de gösterilmiştir (Yamamoto ve ark., 2006; Chung ve ark., 2006). Yukarıdaki bakteri cinsleri (*Treponema*, *Porphyromonas* ve *Prevotella*) yüzey antijenlerinde (lipopolisakkarit yapısı, LPS dahil) farklılıklara sahiptir; bu nedenle, çok çeşitli bakterilerin çok çekirdekli dev rezorbe edici hücrelerin farklılaşmasını ve aktivasyonunu uyarma kapasitesine sahip olduğu tahmin edilebilir. Artan RANKL üretimi, bir Gram-pozitif bakteri türü olan *Streptococcus pyogenes* (Okahashi ve ark., 2003; Sakurai ve ark., 2003) tarafından uyarılarak da gösterilmiştir. İlginç bir şekilde, bir başka Gram-pozitif tür olan *Staphylococcus aureus*'tan yüzeye ilişkili (kapsüler) materyalin, RANKL'dan bağımsız bir mekanizma ile osteoklast farklılaşmasını uyardığı son zamanlarda gösterilmiştir (Lau ve ark., 2006).

Nair ve ark. (Nair ve ark., 1995), *S. aureus*'tan hücre yüzeyi ile ilişkili proteinlerin (SAP) kemik rezorpsiyonunun güçlü uyarıcıları olduğunu bildirdi. SAP'nin fare kaynaklı kalvarial kemik rezorpsiyonu testinde güçlü kemik rezorpsiyonu uyarıcıları olduğunu gösterdiler. Elde ettikleri sonuçlar, kemik rezorpsiyonunun proteinlere bağlı olduğunu ve peptidoglikandan lipoteikoik asit veya muramil dipeptit ile kontaminasyonun sonucu olmadığını göstermiştir. *S. aureus* kaynaklı SAP etkisi, fare kaynaklı TNF'ye karşı nötralize edici bir monoklonal antikorun yüksek konsantrasyonları tarafından tamamen bloke edildi. Endodontik enfeksiyonlardan izole edilen Gram-negatif bakterilerin LPS (lipopolisakkarit tabakası) periapikal kemik rezorpsiyonundaki rolü gösterilmiştir (Dahlén & Hofstad, 1977; Dahlén ve ark., 1981). Bununla birlikte, periapikal lezyonlu birçok endodontik enfeksiyona Gram pozitif bakteriler hakimdir ve bazılarında sadece Gram pozitif türler bulunur. Bu nedenle, LPS'ye benzer mekanizmalarla sert doku emilimini uyaran antijenik yapılara sahip olmaları mümkündür. Yalnızca Gram pozitif bakterilerde bulunan biyolojik olarak aktif bir hücre yüzeyi bileşeni olan lipoteikoik

asidin alveolar kemik rezorpsiyonuna neden olduğu gösterilmiştir (Hausmann ve ark., 1975; Bab ve ark., 1979).

İnternal inflammatuar kök rezorpsiyonunda hücrel aktivasyon mekanizmaları bilinmemektedir. Bununla birlikte, fare odontoblast ve pulpa hücre dizilerinde OPG, RANKL ve M-CSF mRNA'sının yapısal bir ekspresyonu bildirilmiştir (Rani & MacDougall, 2000). İlginç bir şekilde, bir ortak kültür sisteminde, dental hücreleri, osteoklast uyarıcı faktörleri RANKL ve M-CSF üretmelerine rağmen, dalak ve kemik iliği öncülerinden osteoklast oluşumunu engellemiştir. Yazarlar, rezorbe edici hücrelerin aktivasyonunun uyarıcı ve inhibe edici faktörler (OPG) arasındaki dengeye bağlı olduğunu öne sürmüşlerdir (Rani & MacDougall, 2000). Periodontal ligament ve gingival fibroblastlar üzerine yapılan ilgili çalışmalar, osteoklastların farklılaşmasını veya bunların rezorpsiyon yeteneklerini sınırlandıran inhibitör mekanizmaların varlığını da göstermiştir (de Vries ve ark., 2006). Hücre kültürü süpernatantları (santrifüjden sonra üstte kalan sıvı kısım), düşük seviyelerde RANKL (osteoklast aktivatörü) ve yüksek seviyelerde OPG (osteoklast inhibitörü) ortaya çıkardı. M-CSF ve RANKL'in ko-kültüre eklenmesi, multinükleer hücreler tarafından artan rezorpsiyon aktivitesi ile sonuçlandı, bu da periodontal ve gingival fibroblastlarla birlikte kültürde bu hücrelerin rezorpsiyon eksikliğinin rezorbe etme potansiyeli eksikliğinden ziyade inhibisyon kaynaklandığını gösterir.

Dentin rezorpsiyonu hakkındaki mevcut bilginin çoğu, süt dişlerinin rezorbe kökleri üzerine yapılan çalışmalardandır. İnternal enflamatuar kök rezorpsiyonunda rol oynayan multinükleer odontoklast hücrelerinin, kemiği rezorbe eden osteoklastlarla özdeş olduğu düşünülmektedir. Aynı zamanda pulpada bulunan bir dizi hücre tarafından üretilen çeşitli araçlar, prekürsörlerden multinükleer hücrelerin gelişimine ve dentin rezorpsiyonunun uyarılmasına / inhibisyonuna katılabilir. Bununla birlikte, internal enflamatuar kök rezorpsiyonunun başlamasındaki anahtar olaylar henüz tam olarak bilinmemektedir.

İNTERNAL ENFLAMATUAR KÖK REZORPSİYONUN ETYOLOJİ VE PATOGENEZİ

Nadir görülen internal kök rezorpsiyonu, etiolojisinin tam olarak anlaşılmasının ana nedenidir. Genel olarak, mineralize dokuyu rezorpsiyon potansiyeline sahip pulpal hücrelerin etkilenmesi için kök kanalı içindeki mineralize dentini örten organik tabaka, predentin ve odontoblast hücrelerinin hasar görmesi gerektiği varsayılır. Bununla birlikte, rezorpsiyonu başlatmak için gereken neden ne tür bir travma veya başka bir olayın gerekli olabileceği kesin olarak bilinmemektedir. Literatürde önerildiği üzere internal kök rezorpsiyonuna yatkınlık yaratan faktörler arasında travma, pulpitis, pulpotomi, çatlak diş, tranplantasyon, restoratif prosedürler, invajinasyon, ortodontik tedavi ve hatta Herpes zoster viral enfeksiyonu yer alır (Barclay, 1993; Walton & Leonard, 1986; Brady & Lewis, 1984; Solomon ve ark., 1986).

İnternal enflamatuvar kök rezorpsiyonunun etiyolojisi ve patogeneziyle ilgili ilginç bir çalışmada, Wedenberg ve Lindsog (Wedenberg & Lindsog, 1985) maymun dişlerinde internal rezorpsiyon lezyonlarının gelişimini uyarmıştır, bunlar daha sonra çeşitli gözlem dönemlerinden sonra çıkarıldı ve çeşitli mikroskopik ve radyografik yöntemler kullanılarak incelendi. Vital pulpalara sahip maymun kesici dişlerinin kök kanallarına erişildi ve Freund'un tam adjuvanı (bağışıklık tepkisinin spesifik olmayan bir uyarıcısı) ile enjekte edildi ve aseptik olarak kapatıldı veya ağız boşluğuna açık bırakıldı. Yazarlar, dentin duvarının makrofaj benzeri hücreler tarafından kolonizasyonunun her iki deney grubunda da gözlemlendiğini bildirdiler. İlginç bir şekilde, kolonizasyon pulpa enfeksiyonu olmaksızın kapatılmış dişlerde geçici iken, pulpaları oral bakteriler tarafından enfekte olan kapatılmamış dişlerde, rezorbe edici hücreler tarafından dentin yüzeyinde daha kapsamlı ve uzun süreli bir kolonizasyon sergilemiştir. Makrofajların / multinükleer dev hücrelerin yayılması sadece dentinin kaybedildiği alanlarda görülebiliyordu. Çalışmaya göre, bu, etkilenen bölgede predentinin mineralizasyonu veya odontoblastların ve predentin tabakasının dejenerasyonu ile meydana gelmiştir. Pulpa enfeksiyonu olmayan dişlerde, deney başlangıcından 6-10 hafta sonra makrofaj benzeri hücre sayısı azalmış, fibroblast benzeri hücre sayısında artış ve sert doku bariyeri oluşumu gözlenmiştir. Bununla birlikte, enfekte koronal pulpalı dişlerde, rezorpsiyon potansiyeline sahip hücre sayısında azalma tespit edilememiştir. Histolojik kesitlerin Brown ve Brenn boyama, bölgedeki dentin tübüllerinin çoğunun farklı morfortiplerden bakteriler tarafından istila edildiğini gösterdi (Wedenberg & Lindsog, 1985). Yazarlar, internal kök rezorpsiyonunun meydana gelmesi için mineralize dentinin açığa çıkarılması gerektiği sonucuna varmışlardır. Dahası, internal kök rezorpsiyonunun iki farklı türe ayrılabilirliğini öne sürdüler: geçici rezorpsiyon ve aşamalı internal kök rezorpsiyonu. İlki, bu nedenle kökün geçici dış yüzey rezorpsiyonuna benzer ve kendi kendini sınırlarken ikincisi bakteri mevcudiyetiyle uyarılır ve genişlemeye devam eder.

Sahara ve ark. (Sahara ve ark., 1998), insan süt dişlerinin ışık ve elektron mikroskobu ile düşmeden önce yüzeysel mineralize olmayan predentin tabakasının odontoklastları tarafından rezorpsiyonunu inceledi. Koronal dentinin ön yüzeyinde, dejenere odontoblastlar ve mineralize olmayan predentinde rezorpsiyon lakunaları arasında çok çekirdekli hücreler buldular. Aynı çalışmadaki diğer bazı alanlarda, multinükleer hücreler 'predentinde hem mineralize olmayan hem de kalkosferit mineralize matrisi eşzamanlı olarak resorbe ettiler. Yazarlar, çok çekirdekli odontoklastların mineralize olmayan predentin matrisini in vivo olarak, muhtemelen kırışık sınırlarının altında yatan rezorpsiyon bölgesinde demineralize organik matrisi yeniden rezorbe ettikleri şekilde öne sürmüşlerdir (Sahara ve ark., 1998). Süt dişlerinin düşmesiyle ilgili başka bir çalışmada, kökler odontoklastlar tarafından aktif olarak rezorbe edildiği sürece pulpa dokusunun herhangi bir önemli yapısal değişikliğe uğramadığı bulundu. Kök rezorpsiyonu neredeyse bittiğinde, pulpada artan sayıda inflamatuvar hücre tespit edildi (Sahara ve ark., 1992). Bu aşamada odontoblastlar dejenere olmaya başladı, dentin yüzeyinde çok çekirdekli

odontoklastlar ortaya çıkmıştır ve rezorpsiyon predentinde dentine doğru ilerler. Odontoklastik aktivite ilk olarak kron pulpasının servikal bölgesinde gösterilmiştir, ancak sonunda dentinin rezorpsiyonu koronal olarak pulpa boynuzlarına doğru yayılmıştır.

Nadir görülen dentin rezorpsiyonu, OPG(osteoprotegerin) gibi osteoklast / odontoklast inhibe edici maddelerin RANKL gibi aktivatörlere üstünlüğü ile açıklanabilir. Bununla birlikte, dentinin, dentin içinde bir rezorpsiyon inhibitörü olarak işlev görebilen kollajen olmayan bir bileşik / bileşenler içerdiği de öne sürülmüştür. Wedenberg ve Lindskog (Wedenberg & Lindskog, 1987), dentin içinde bir rezorpsiyon inhibitörünün varlığının morfolojik kanıtını oluşturmak için uyarılmış ve uyarılmamış peritoneal makrofajların in vitro olarak dental dokuların farklı inorganik ve organik bileşenlerine yayılma yeteneklerini incelemiştir. Makrofajlar mine, dentin ve kollajen kaplı lameller üzerine yapışır ve yayılır; bununla birlikte, aynı hücreler bağlanmış ancak predentin veya demineralize dentin üzerinde inkübe edildiğinde yayılmamıştır. Yazarlar, predentin ve dentinin rezorpsiyonuna karşı direncin, dokunun organik, kollajen olmayan bir bileşeninden kaynaklanabileceği sonucuna varmışlardır. Sonraki deneyler, demineralize dentin ve predentin guanidinium hidroklorür ile tedavi edildiğinde, makrofaj yayılmasının kolaylıkla tespit edilebileceğini gösterdi (Wedenberg, 1987). Başka bir deney serisinde, osteoklastlar neonatal sıçanlardan izole edildi ve guanidinium hidroklorür ile önceden ekstraksiyonla veya ekstraksiyon olmadan tamamen mineralize dentin, demineralize dentin ve predentin parçalarına ekildi. Osteoklastlar (odontoklastlar) kolonize olmuş ve tamamen mineralize dentini yeniden rezorbe etmişken, ekstrakte edilmemiş demineralize dentin ve predentinde klastik hücreler gözlenmemiştir. Bununla birlikte, guanidinium hidroklorür ekstraksiyonundan sonra, osteoklastlar da demineralize dentin ve predentine bağlanır ve yayılır (Wedenberg & Yumita, 1990).

Odontoblastik tabakadaki hücrelerdeki hasar, sadece travmanın bir sonucu olarak değil, aynı zamanda pulpa bağ dokusunun dentin veya daha koronal pulpadan(çürükler) yaklaşan enfeksiyona reaksiyonu olarak iltihaplanması nedeniyle de meydana gelebilir. Odontoblast hücrelerinin ölümü, derin çürük lezyonu olan dişlerde periferik pulpa dokusundaki mikroabse alanlarında sıklıkla görülmektedir. Travmaya karşı iyi korunmuş mandibular premolar ve molarların köklerinin orta ve apikal kısımlarında da internal inflamatuvar kök rezorpsiyonlarının bulunması (Şekil 2), pulpa inflamasyonunun internal inflamatuvar kök rezorpsiyonu başlatabileceğinin bir göstergesi olarak kabul edilebilir. Bu durum, odontoblastlar iltihabın ilerleyen cephesinde öldürülürse meydana gelebilir, ancak pulpa hala bölgede canlılığını korur. Rezorpsiyon kabiliyetine sahip hücreler aktif hale gelebilir ve ağızdaki predentin / dentin ile temas edebilir. Bu makalede daha önce bahsedildiği gibi, birkaç bakteri türünün RANKL ekspresyonunu ve osteoklast aktivasyonunu arttırdığı gösterilmiştir (Choi ve ark., 2005; Yamamoto ve ark., 2006; Chung ve ark., 2006).

Şekil 2 Alt ikinci premolar'da asimetrik bir şekle sahip internal enflamatuvar kök rezorpsiyonu (Haapasalo & Endal, 2006)

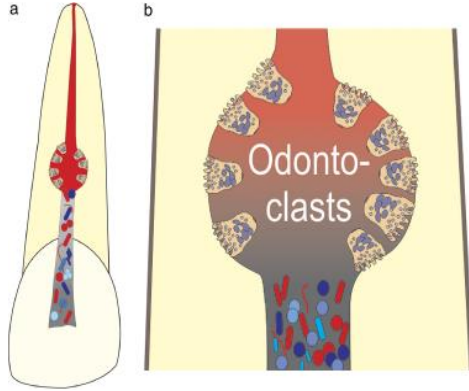


En klasik formdaki internal enflamatuvar kök rezorpsiyonunun, pulpayı çevreleyen dentinin içine her yöne simetrik olarak yayılması ilgi çekici olabilir. Koronal-apikal yönde belirli derinliklerde tüm dentin boyunca internal kök rezorpsiyonunun başlaması, belki de yavaş ilerleyen pulpitis (iltihap) veya mekanik travma ile açıklanabilir. Bununla birlikte, internal inflamatuvar kök rezorpsiyonunun nadir olduğu ve bununla ilgili bilgi miktarının yetersiz olduğu gerçeği kalır. Bu nedenle, internal enflamatuvar kök rezorpsiyonunun başlamasındaki temel olaylar büyük ölçüde bilinmemektedir.

Olası etyolojik faktörlere (travma, iltihaplanma veya başka bir sebep) bakılmaksızın, internal kök rezorpsiyonunun ilerlemesinin iki şeye bağlı olduğu konusunda genel bir fikir birliği vardır: rezorpsiyon alanındaki pulpa dokusu vital olmalı ve rezorpsiyon için koronal pulpa parsiyel veya total olarak nekrotik olmalıdır ve bakteriyel enfeksiyon ve mikrobiyal antijenlerin kök kanalına girmesine izin vermelidir (Şekil 3). İnflamasyonun devamı için mikrobiyal uyarı gereklidir.

Şekil 3 (a) İnternal inflamatuvar kök rezorpsiyonunun patogenezi gösteren aşematik çizim. Rezorpsiyon olan kanalın koronali nekrotiktir ve mikroplar tarafından istila edilmiştir. Rezorpsiyon boşluğu, multinükleer odontoclast hücreleri ile yüksek derecede

vaskülarize edilmiş rezorpsiyon dokusu içerir. (b) Rezorpsiyonun yakın plan görüntüsü (Haapasalo & Endal, 2006)



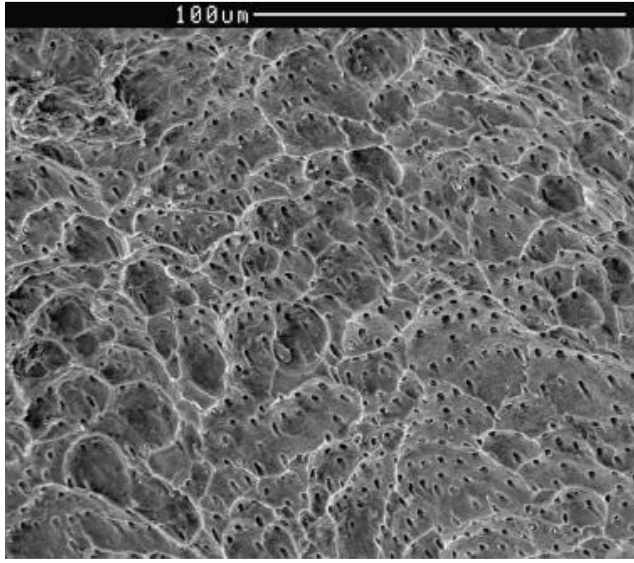
Aksi takdirde, sınırlı internal rezorpsiyon, başlangıç aşamasının tek sonucu olabilir. İnternal enflamatuvar kök rezorpsiyonunun mikrobiyolojisi çalışılmamıştır. Bununla birlikte, son zamanlarda yapılan birkaç çalışma, hem Gram-negatif hem de Gram-pozitif bakterilerin ve spiroketlerin RANKL ekspresyonunu ve osteoklast aktivasyonunu uyarma potansiyeline sahip olduğunu gösterdiğinden, diğerlerinden daha olası spesifik türlerin internal inflamatuvar kök rezorpsiyonunun başlatılması ve patogeneğinde yer alması olmayabileceği tahmin edilebilir.

İNTERNAL İNFLAMATUAR KÖK REZORPSİYONUN HİSTOLOJİSİ

İnternal rezorpsiyonunun histolojik ve mikroanatomik özelliklerinin raporları, 'doğal olarak oluşan' iç rezorpsiyonlara sahip çekilmiş dişlerin incelenmesine ve hayvan modellerinde deneysel olarak indüklenen rezorpsiyonlara dayanmaktadır (68, 72, 73). Allen ve Gutmann (Allen & Gutmann, 1977), lenfositler ve plazma hücreleri tarafından infiltre edilen yüksek derecede vaskülarize pulpa bağ dokusunun yanı sıra 'rezorpsiyon lakünaları' olarak tanımladı. Wedenberg ve Zetterqvist (Wedenberg & Zetterqvist, 1987), intenal rezorpsiyon nedeniyle çekilen 13 süt ve daimi dişi inceledi. Yazarlar, süt dişlerinde rezorpsiyonun ilerlemesinin daha hızlı olduğunu, ancak iki grup diş arasında başka bir fark olmadığını bildirdi. Rezorpsiyonun yanındaki pulpa dokusu hiperemi ve çeşitli derecelerde inflamasyon ve lenfositlerin, makrofajların ve nötrofilik lökositlerin infiltrasyonunu göstermişlerdir. Bakteriler histolojik olarak sadece hızla ilerleyen rezorpsiyona uğrayan dişlerde tespit edildi. Bakteriler ya dentin tübüllerinde ya da koronal kök kanalının nekrotik kısmında bulunuyordu. İlginç bir şekilde, yazarlar pulpa duvarının bazı bölgelerinde osteoid veya sement benzeri doku ve pulpa dokusunda küçük kalsifikasyonlar bildirmişlerdir. Dişlerin hiçbirinde rezorpsiyon alanında odontoblast hücreleri tespit edilmedi ve çoğu bölgede predentin de yoktu. Mineralize dentin yüzeyine bağlı nötrofiller ve makrofajlar görüldü ve çok sayıda odontoklastik hücre (bkz. Şekil 1)

rezorpsiyon lakunasında mevcuttur (Wedenberg & Zetterqvist, 1987). Numunelerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) büyük odontoklastik hücreler ortaya çıkardı. 50 mm boyutunda ve dentin yüzeyine yönelik karışık bir bordüre sahiptir. Şekil 4, odontoklastik hücreler tarafından dentin rezorpsiyonunun bir alanını göstermektedir.

Şekil 4 Rezorpsiyondan sonra hipoklorit ile (organik kalıntıları gidermek için) tedavi edilen dentin yüzeyinin taramalı elektron mikrofisi. Mikrografi, odontoklast aktivitesinin yerini gösteren çok sayıda sık rezorpsiyon lakunası ile rezorbe olmuş dentini göstermektedir. Küçük açıklıklar dentin tübülleri (Haapasalo & Endal, 2006)



Literatürde yaygın internal kök rezorpsiyonunun histolojik bir varyasyonu da gösterilmiştir. Ne ve arkadaşları (Ne ve ark., 1999), kök kanalı etrafında dentinin rezorpsiyonunu ve ardından osteoid veya sementoid sert dokunun birikimini içeren replasman kök rezorpsiyonunu (metaplastik rezorpsiyon) tanımladılar. Yazarlar, odontoblast hücrelerine ve predentinin mineralize dentini açığa çıkardığı bir bölgenin yanında kronik inflamasyonun olduğu yerde replasman kök rezorpsiyonunun meydana gelebileceğini bildirdi. Bununla birlikte, revaskülarizasyon ile ardından replasman kök rezorpsiyonundan kaynaklanan osteoid doku oluşumu arasındaki farkı tespit etmek zor olabilir.

EPİDEMİYOLOJİ: İNTERNAL KÖK REZORPSİYONUN PREVELANSI

İnternal inflamatuvar kök rezorpsiyonuna ilişkin epidemiyolojik veriler azdır veya tamamen yoktur. İnternal rezorpsiyon o kadar nadirdir ki, prevalansı hakkında güvenilir veri toplamak zordur. Ayrıca internal kök rezorpsiyonunun meydana gelmesinde herhangi bir coğrafi, yaş veya cinsiyete bağlı farklılık olup olmadığı da bilinmemektedir.

Thoma (Thoma, 1935) 1000 diş üzerindeki çalışmasında, sadece bir dişte internal kök rezorpsiyonunu bildirmiştir. Cabrini vd. (Cabrini ve ark., 1957) 28 dişten sekizinde (% 28) koronal pulpada pulpotomi ve kalsiyum hidroksit (çinko oksit öjenol ile kaplı) ile pulpa kaplamasının yapıldığı internal kök rezorpsiyonunu bildirmişlerdir. Dişler endodontik işlemlerden 49–320 gün sonra çekildi ve histolojik bir çalışmaya tabi tutuldu. Ahlberg vd. (Ahlberg ve ark., 1983), ortalama 6 yıllık takip süresi ile ototransplante edilmiş maksiller köpek dişlerinin uzun süresi bir değerlendirmesini bildirdiler. Çalışmaya dahil edilen 33 dişten 17'sinde (% 55) internal rezorpsiyon gelişmiştir. İlginç bir şekilde, ototransplantasyondan sonraki ilk yıl boyunca hiçbir internal rezorpsiyon saptanmamış ve rezorpsiyonların çoğu işlemiden 3 yıl veya daha uzun süre sonra ortaya çıkmıştır. Rezorpsiyon teşhisi konulduktan sonra dişler endodontik olarak tedavi edilmiştir.

Endodonti uzmanlarına veya üniversite kliniklerine intrnal kök rezorpsiyonları olarak teşhis edilen birçok vakada, eksternal servikal rezorpsiyonları olduğunu görmüşlerdir. Ayrıca, internal kök rezorpsiyonunun teşhisinin esas olarak radyografilere dayandığı unutulmamalıdır, bu da radyografide güvenilir bir şekilde tespit edilebilmesi için önemli miktarda kök kanal duvarı dentinin rezorbe olması gerektiği anlamına gelir. Kök kanal enfeksiyonunun kök kanalı boyunca hızla ilerlediği ve tüm pulpanın nekrozu ile sonuçlandığı durumlarda, rezorpsiyon (varsa) erken bir aşamada durur ve hem klinik hem de radyografik olarak tespit edilemeyecektir.

Yazarların sınırlı çalışmalarına ve klinik deneyimlerine dayanarak, internal inflamatuvar kök rezorpsiyonu için % 0.01 ila % 1 (etkilenen hastalar) arasında bir prevalans önermekteyiz. Bu tahmin oldukça kaba ve yanlış olsa da, yakın gelecekte epidemiyolojik bir çalışmaya dayalı olacak daha doğru bir rakamla yer değiştirmesi olası değildir. Tipik olarak, hasta başına yalnızca bir diş, internal kök rezorpsiyonundan etkilenir. Bununla birlikte, bazen iki bitişik dişte internal kök rezorpsiyonu olur ve bu gibi durumlarda muhtemelen başlatıcı faktör travmadır.

İTERNAL KÖK REZORPSİYONUN KLİNİK VE RADYOLOJİK ÖZELLİKLERİ

İnternal kök rezorpsiyonunun klinik özellikleri, rezorpsiyonun gelişmesine ve lokalizasyonuna bağlıdır. İnternal kök rezorpsiyonlu dişlerin çoğu asemptomatiktir. Bununla birlikte, rezorpsiyon aktif olarak ilerlediğinde, diş en azından kısmen vitaldir ve pulpitis övgü tipik semptomlar gösterebilir. Rezorpsiyon, kronun içinde veya yakınında meydana gelirse, rezorpsiyonu örten ince bir mine tabakası kaldıysa, ileri vakalarda mine boyunca pembemsi veya kırmızımsı bir renk olarak görünebilir (Şekil 5-7). Kırmızı renge, rezorbe edici hücrelere bitişik yüksek derecede vaskülarize edilmiş bağ dokusu neden olur. İnternal rezorpsiyonda, renk tipik olarak merkezi şekilde konumlandırılırken, servikal rezorpsiyonda da renk ("pembe nokta şeklinde") ayrıca mesial veya distal olarak

da bulunabilir (Şekil 8). Koronal bölgede tedavi edilmemiş internal rezorpsiyonları olan dişlerde, pulpa nekrotik hale gelirse genellikle gri / koyu gri renk alır.

Şekil 5 Maksiller santral kesici dişin kronunun servikal bölgesinin ortasında, mine bölgesine yansıyan internal inflamatuvar kök rezorpsiyonun pembe / koyu kırmızı nokta görüntüsü (Haapasalo & Endal, 2006)



Şekil 6 (a) Her iki maksiller santral kesici dişte büyük internal inflamatuvar kök rezorpsiyonları olan bir hasta. 11 nolu dişte, pulpanın vital olduğunu gösteren pembe bir renge sahiptir, oysa 21 nolu dişte, pulpa nekrozunun bir göstergesi olan koyu bir renk değişikliğine sahiptir. (b) Palatinal taraftan görülen dişler. Güçlü renk değişimleri açıkça görülebilir. (c) Dişlerin bir radyografisi, internal inflamatuvar kök rezorpsiyonunun neden olduğu dentin ve minenin geniş ölçüde rezorbe olduğunu ortaya koymaktadır (Haapasalo & Endal, 2006)



Şekil 7 Mine-sement sınırında distobukkal alanda kronu perfore eden, internal rezorpsiyonlu alt birinci sağ moların fotoğrafı. Perforasyondan yüksek derecede damarlı granülasyon dokusu görülebilir. Minenin içinden geçen pembe bir renk, geniş bir alanda koronalde ve perforasyona lateral olarak görülebilir (Haapasalo & Endal, 2006)

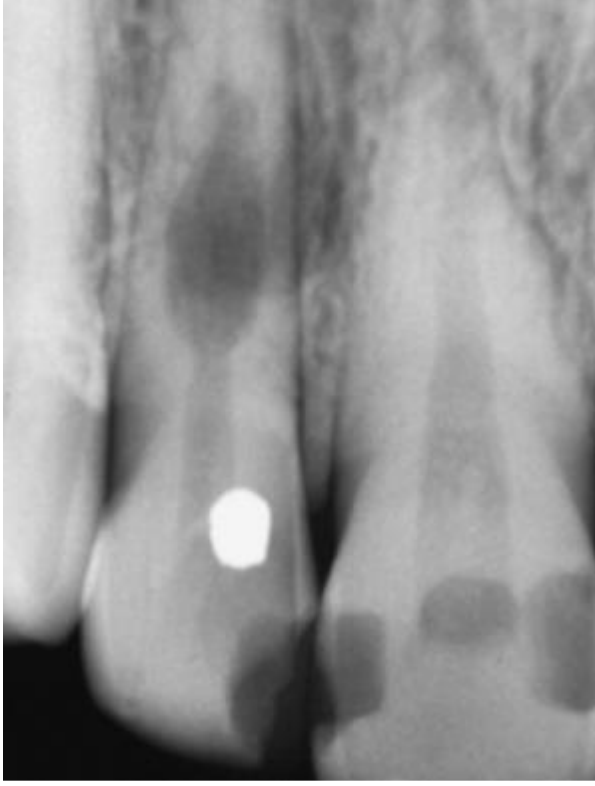


Şekil 8 Servikal rezorpsiyonlu bir maksiller kaninin kronunun servikal bölgesinde mesial pembe nokta lezyonu (Haapasalo & Endal, 2006)



İnternal inflamatuvar kök rezorpsiyonları, endodontik tedavi başlatılıncaya veya pulpa nekrotik hale gelene kadar genişlemeye devam eder. Sonunda, yukarıda bahsedilen olaylardan biri tarafından durdurulmadığı sürece, rezorpsiyon kökü perfore eder (Şekil 7 ve 9-11). Kökün perfore olmasını genellikle, kök kanalında bir enfeksiyonun varlığını doğrulayan bir sinüs yolunun gelişimi izler. Perforasyondan sonra, rezorpsiyonun devam etmesi artık vital pulpa dokusunun varlığına bağlı olmayabilir çünkü rezorbe edici hücreler artık dişi çevreleyen dokulardan beslenebilir. Perforasyondan sonra enfeksiyonun kontrolü, perforasyonsuz kök kanalına göre daha zordur. Sert doku kaybı sonucu perforasyonlu dişlerde diş yapısı da zayıflar. Sinüs yoluna ek olarak, çoğu hastada hiç ağrı yoktur veya sadece hafif ağrıdan şikayet ederler -şişlik de olabilir.

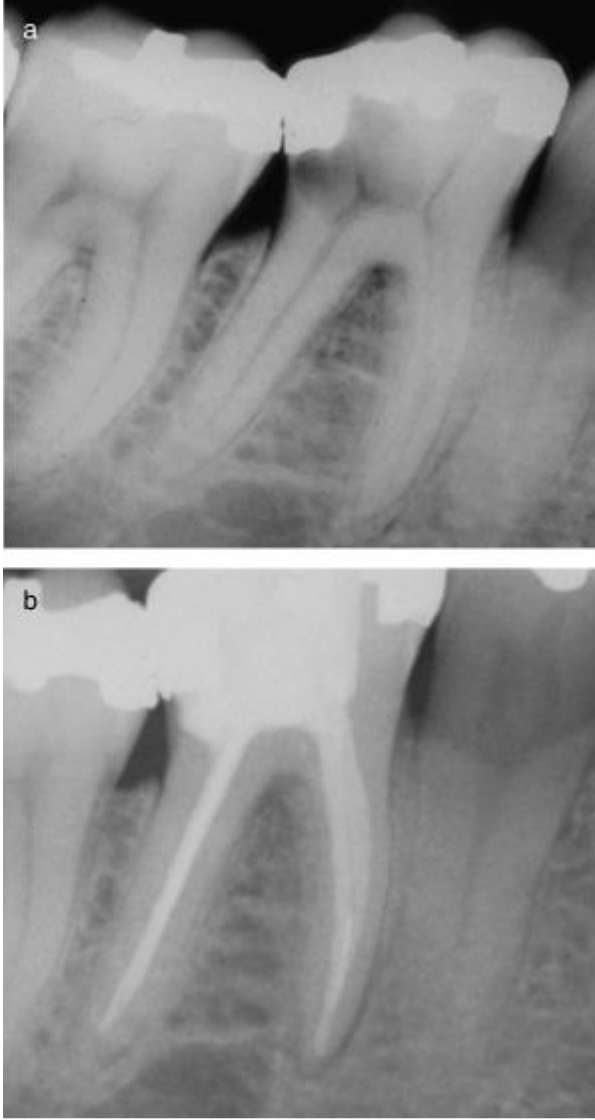
Şekil 9 Orta kök bölgesinden mesial olarak perfore olan, internal inflamatuvar kök rezorpsiyonlu maksiller lateral kesici diş. Kemikteki inflamatuvar değişiklikler perforasyon bölgesinde görülebilir (Haapasalo & Endal, 2006)



Şekil 10 İnternal inflamatuvar kök rezorpsiyonlu maksiller lateral kesici diş. Sinüs kanalına yerleştirilmiş bir gutta-perka konu ile çekilmiş bir fistülografî, kökün orta üçte birlik kısmının bukkal yüzeyinde bir perforasyona işaret eder (Haapasalo & Endal, 2006)



Şekil 11 (a) Koronal pulpa alanındaki internal inflamatuvar rezorpsiyonun bir radyografisi (Şekil 7'deki diş). Rezorpsiyon, pulpa boynuzu etrafındaki nispeten geniş bir alanı etkilerken, diğer alanlar etkilenmeden kalır. (b) Kanal tedavisi ve rezorpsiyon bölgesinin restorasyonundan sonra aynı diş (Haapasalo & Endal, 2006)

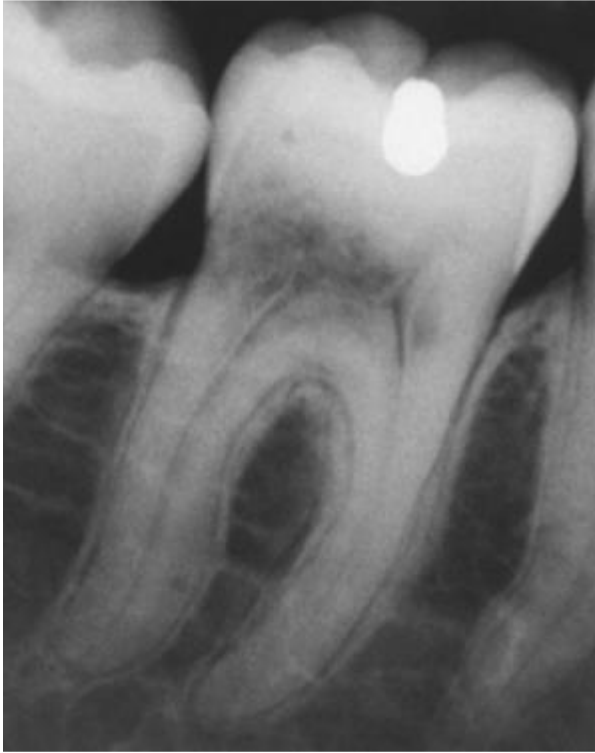


İlerleyen enfeksiyonla birlikte, tüm pulpa nekrotik hale gelir ve internal kök rezorpsiyonu, total nekroz gelişmeden önce kök perforasyonu meydana gelmedikçe, rezorbe edici hücreler dolaşım ve besinlerin kesildiği için durur. Pulpal nekroz, bu nedenle, rezorpsiyonun yayılmasına karşı etkili bir koruma olarak kabul edilebilir. Pulpa nekrozunun sonucu olası sonucu ise, her zamanki gibi apikal periodontitistir. Rezorpsiyonun apikal periodontitisin patogenezi veya semptomları üzerinde herhangi bir etkisi olduğunu gösteren hiçbir veri yoktur.

En klasik görünümünde, internal inflamatuvar kök rezorpsiyonunun radyografik olarak belirlenmesi nispeten kolaydır ve doğru teşhis konulabilir. Rezorpsiyon, kök kanal boşluğunun radyolusent, yuvarlak ve simetrik bir genişlemesi olarak görülür (Şekil 10). Rezorpsiyon alanında, orijinal kanal şekli artık gözlenemez. Bununla birlikte, tüm

internal kök rezorpsiyonları benzer ilerleme göstermez ve oval -asimetrik şekilli internal kök rezorpsiyonları bulunabilir (bakınız Şekil 2 ve 9). Koronal pulpa / mine bölgesinde, internal rezorpsiyon, bir kök kanalı ve pulpa boynuzlarının birbirine yakın konumlandığı dar bir pulpa odası olan dişlerde simetrik olabilir. Bununla birlikte, birkaç kök ve geniş bir pulpa odasına sahip molar dişlerde, internal rezorpsiyon odanın bir kısmında başlayabilir ve çevreleyen dentine yayılabilir (Şekil 11). Bu gibi durumlarda, endodontik tedavi sırasında rezorptif bölgeye doğrudan ulaşılan, temizlenene ve cerrahi mikroskop altında dikkatlice çalışılana kadar internal ve eksternal servikal rezorpsiyon arasında tanı koymak zor olabilir. Bununla birlikte, kron bölgesindeki servikal rezorpsiyonlar genellikle daha düzensiz bir çerçeveye sahiptir ve internal rezorpsiyon lezyonlarında görülmeyen rastgele şekilli ince opak çizgiler içerir (Şekil 12).

Şekil 12 Servikal rezorpsiyon, kron kısımları ve kökün en koronal kısmı dahil olmak üzere dişin tüm servikal bölgesine yayılır. Aynı bölgede internal rezorpsiyonun görüldüğü Şekil 11 ile yapılan karşılaştırma, servikal rezorpsiyonun daha mozaik benzeri bir iç yapıya sahip olduğunu ve prosesi pulpadan ayıran opak çizgilerin belirgin olduğunu göstermektedir (Haapasalo & Endal, 2006)

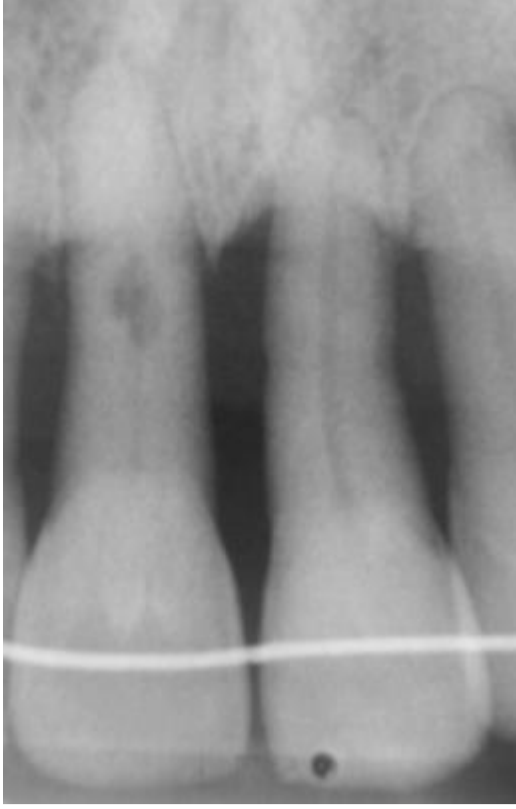


İTERNAL İNFLAMATUAR REZORSİYONUN TEŞHİSİ VE AYIRICI TEŞHİSLERİ

İnternal inflamatuvar kök rezorpsiyonu genellikle radyografik olarak tespit edilir. İnternal rezorpsiyonlu dişler tipik olarak asemptomatik olduğundan, rutin kontrol radyografileri sırasında birçok lezyon tesadüfen bulunabilmektedir. Daha önce belirtildiği gibi kök kanalındaki simetrik, yuvarlak veya oval lezyonların teşhisi kolaylıkla yapılabilir. Daha düzensiz şekilli rezorpsiyonlar için, temel teşhis özelliği rezorpsiyon alanında orijinal kanal şeklinin kaybolmasıdır.

İnternal kök rezorpsiyonu ile ayırıcı tanıda zorluk çıkarabilecek durum, radyografide kök kanal üzerine süperpoze olan eksternal servikal kök rezorpsiyonudur. Servikal kök rezorpsiyonu, vital pulpa dokusundan bağımsız kök kanalına nüfuz edememesiyle bilinir. Servikal rezorpsiyonlu dişlerin mikro bilgisayarlı tomografi (BT) taramaları, (eksternal) servikal rezorpsiyonu pulpadan ayıran 0.1-0.3 mm dentin bölgesi gösterilmiştir. Predentin tabakasının kalınlığından 10–20 kat daha geniştir (Brown & Herbranson, 2006; Couve, 1987; Goldberg ve ark., 2003). İnce dentin tabakası bu nedenle radyografilerde kök kanalının yanında opak bir çizgi olarak görünmesini yeterli mineralize doku korumasını sağlar. Bu opak çizgi, servikal kök rezorpsiyonunun güvenilir bir ayırıcı tanı kriteridir (Şekil 11 ve 12). Servikal rezorpsiyon kök kanalının üzerine süperpoze olduysa, birçok durumda kanalın orijinal şekli rezorpsiyon bölgesinde görülebilir (Şekil 13).

Şekil 13 Maksiller santral kesici dişin kökünün orta üçte birlik kısmındaki servikal rezorpsiyon lezyonu internal rezorpsiyona benzer. Bununla birlikte, kök kanalının gölgesi, zayıf da olsa, rezorpsiyon yoluyla görülebilir. Rezorpsiyon, tipik servikal rezorpsiyon olan marjinal kemik seviyesinde bulunur. Bir flep operasyonu sırasında servikal rezorpsiyon tanısı doğrulanmıştır (Haapasalo & Endal, 2006)



Hem internal hem de servikal rezorpsiyon, kron bölgesinde de meydana gelebilir. Servikal rezorpsiyonun kök yüzeyindeki rezorpsiyon bölgesini bazen radyografide tespit edilmesi zor veya imkansız olsa da pulpayı çevreleyen opak çizgilerin varlığı veya yokluğu, iki rezorpsiyon tipini ayırt etmek için hala yararlı bir göstergedir (Şekil 11 ve 12).

Radyografik tekniklerin son evrimi, internal kök rezorpsiyonu dahil olmak üzere diş rezorpsiyonlarının teşhisinde etkili olmaya başlamıştır. Rezorptif lezyonların BT tekniklerinin çeşitli modifikasyonları kullanılarak üç boyutlu görüntüleme ile değerlendirilmesi, ayırıcı tanıyı büyük ölçüde kolaylaştıracak ve perforasyonun yerini, boyutlarını, yayılımını ve olası perforasyon bölgelerini önceden mümkün olandan çok daha ayrıntılı olarak belirlemeye yardımcı olacaktır. (Şekil 14 ve 15) (Friedland ve ark., 2001; Lyroutdia ve ark., 2002; Cohenca ve ark., 2007; Cotton ve ark., 2007; Patel ve ark., 2007). Azaltılmış radyasyon dozajı, iyileştirilmiş çözünürlük ve metal dolgu malzemeleri gibi metal yapıların neden olduğu artifaktlara daha iyi tolerans, halihazırda optimal tedavi seçenekleri için daha iyi öneriler ve kararlar vermeye ve diş sert doku kaybını en aza indirmeye yardımcı olur.

Servikal veya kök yüzey çürükleri, radyolusent çürük lezyonun kök kanalına süperpoze olduğu durumlarda bile nadiren tanısal bir problem yaratır. Şekil 16, biri servikal rezorpsiyonlu ve diğeri çürük lezyonlu iki azı dişi göstermektedir.

Şekil 16 Biri servikal rezorpsiyonlu ve diğeri çürük iki azı dişinin radyografisi. Her hastalığın tanı kriterlerine bağlı kalarak, bu iki durum genellikle güvenilir bir şekilde internal inflamatuvar kök rezorpsiyonu olarak da tanımlanabilirdi (Haapasalo & Endal, 2006)



Klinik olarak görülebilen renk değişiklikleri, yalnızca internal ve servikal rezorpsiyon vakalarının çok azında mevcuttur. İnternal rezorpsiyon ile ilgili renk değişimi, rezorpsiyonun boyutuna ve pulpanın canlılık durumuna bağlı olarak pembe, kırmızı, koyu kırmızı, gri veya hatta koyu gri olabilir. Koronal pulpa nekrotik hale gelir gelmez, orijinal pembe / kırmızımsı rengin kademeli olarak koyu kırmızı / koyu griye dönüşmesi muhtemeldir (Şekil 5-7). Servikal rezorpsiyon pulpadan bağımsızdır. Bu nedenle, bazı servikal rezorpsiyon vakalarında mine bölgesinde tespit edilen pembe noktanın internal rezorpsiyonda olduğu gibi koyulaşması daha az olasıdır. Rezorpsiyonun kökeninin bir göstergesi olabilecek diğer bir özellik, noktanın yeridir: internal inflamatuvar rezorpsiyondan bir renk değişikliği tipik olarak mesio-distal yönde dişin ortasında görülür (çok köklü dişler hariç), oysa servikal rezorpsiyondan kaynaklanan bir renk değişikliği, ortada, mesialde veya distalde yer alabilir (Şekil 5-8).

Sond ile klinik muayene, kök yüzey çürükleri ile servikal rezorpsiyon arasındaki ayırıcı tanıda faydalı olabilir: ilki, pratik olarak her zaman sondlama ile erişilebilirken, servikal rezorpsiyon genellikle bireşim epitelinin apikalde başladığı için tespit edilmez. Bununla birlikte, geniş yayımlı servikal rezorpsiyon vakalarında (tip 3 ve 4), hasta anestezi

altındayken bazen rezorptif lezyonun içine girilebilir. Bu durumlarda bile, çürük lezyonu genellikle daha yumuşak (yapışkan), rezorpsiyon ise daha çok normal dentin gibi hissedilir. Yalnızca çok nadir durumlarda, internal inflamatuvar kök rezorpsiyonu klinik olarak sond ile muayene edilir. Bunun ön koşulu, rezorpsiyonun kökü veya kronu marjinal kemik seviyesinde veya koronal olarak perfore etmesidir. Bu tür durumlarda, sond, internal rezorpsiyonların tipik şekli ve yayılma tipi nedeniyle rezorpsiyonun derinliklerine kolayca nüfuz ederken, servikal rezorpsiyonda sond penetrasyonunun derinliği oldukça sınırlıdır.

İTERNAL İNFLAMATUAR KÖK REZORPSİYONUN TEDAVİSİ

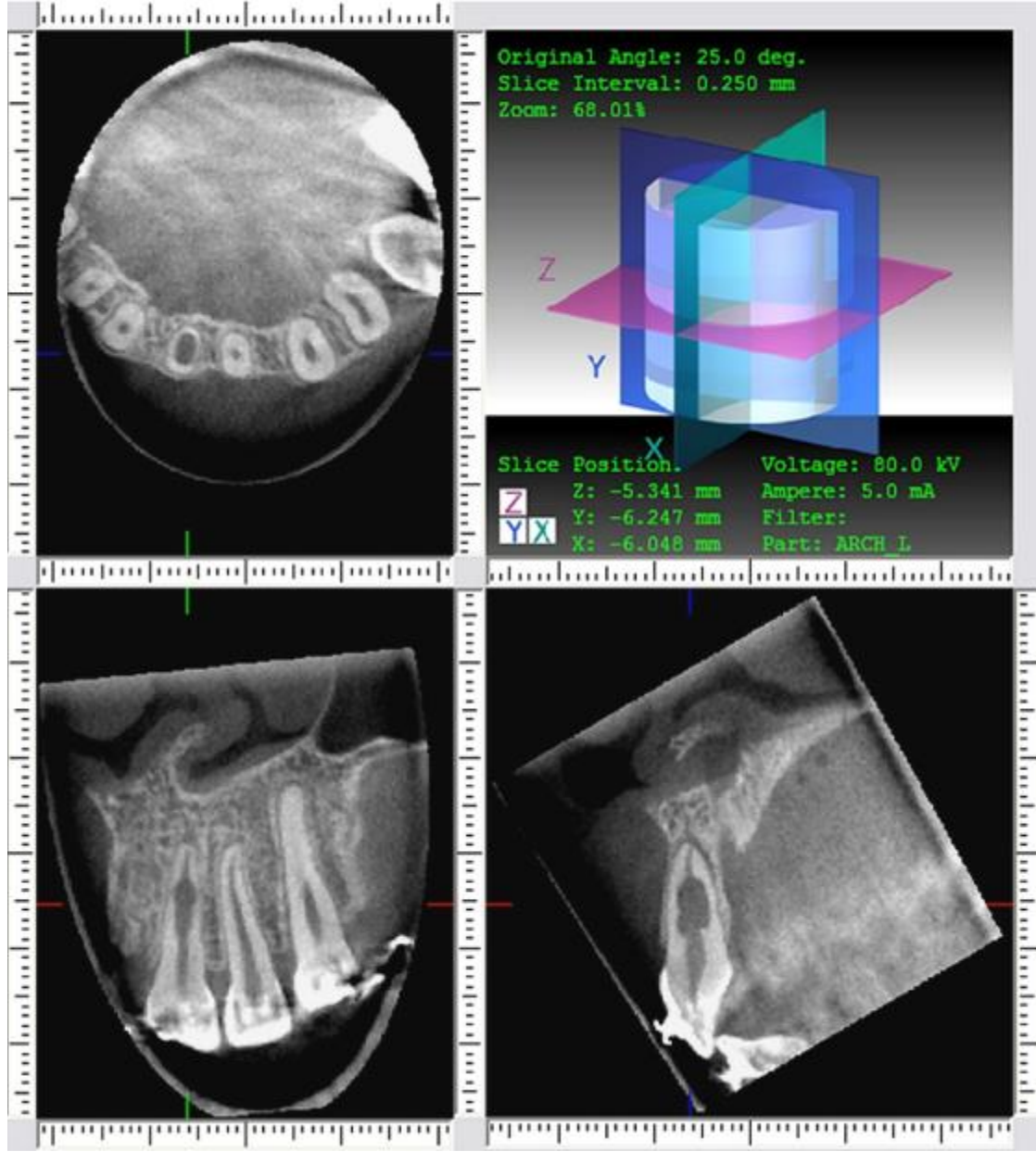
İnternal Rezorpsiyonlu Dişlerin Enstrümantasyonu

İnternal rezorpsiyon ile dişlerin kök kanal boşluğunun enstrümantasyonu ve temizliği, normal endodontik tedaviden farklı birkaç zorlukla karşı karşıyadır. Rezorpsiyonun aktif olduğu durumlarda, tipik olarak pulpa dokusundan hızlı bir kanama olur ve bu da kök kanal açıklıklarının lokalizasyonu zorlaştırabilir. Bununla birlikte, apikal pulpa dokusu kanalda yeterince büyük aletler kullanılarak kesilip çıkarılır çıkarılmaz, kanama durur veya büyük ölçüde azaltılarak çalışma alanına daha iyi görünürlük sağlanır. Konsantre sodyum hipoklorit ile irrigasyon çoğu durumda kanamayı azaltmaya yardımcı olacaktır. Bazen pulpa odasına ve kanal (lar)a kalsiyum hidroksit doldurmak ve dişi geçici bir dolgu ile kapatmak tercih edilir. Birkaç gün sonra, kalsiyum hidroksit granülasyon dokusunu etkin bir şekilde nekrotize ettiği için yumuşak doku kanaması artık bir sorun değildir. Rezorpsiyonun kökü perfore ettiğinde de, perforasyonlu dişlerde, rezorbe dokunun nekrotize edilmesi ve kanamanın durdurulması için kalsiyum hidroksit yerleştirilmesi önerilir.

Şekil 14 Servikal rezorpsiyonlu vital alt birinci moların bilgisayarlı tomografigörüntüsü. Rezorpsiyon, pulpa odasının distalinde marjinal kemik seviyesinde görülebilir. Çözünürlüğün sınırlılıkları dahilinde, rezorpsiyonun pulpa perforasyonunu belirlemeyi zorlaştırır (Haapasalo & Endal, 2006)



Şekil 15 Maksiller santral kesici dişte internal inflamatuvar kök rezorpsiyonunun konik ışınli volumetrik tomografi (KIVT) görüntüsü. Teknik, lezyonun boyutlarının aksiyal, sagital ve koronal düzlemlerde incelenmesine izin verir (Haapasalo & Endal, 2006)



İnternal inflamatuvar kök rezorpsiyonu ile ilgili literatürün çoğunluğu vaka raporları olmasına rağmen, bu vakalarda kök kanal sisteminin kemomekanik enstrümantasyonu için genel kabul görmüş bir protokol yoktur. Ancak vital ve nekrotik pulpa dokusunun kimyasal olarak uzaklaştırılması büyük önem verilmesi gerektiği açıktır. Bu nedenle sodyum hipoklorit ile irigasyonu, internal rezorpsiyonu olan dişlerin tedavisinin önemli bir parçasıdır. Küçük perforasyonlar, hipoklorit kullanımının terk edilmesini gerektirmiyor gibi görünmektedir; Aksine, hipoklorit, perforasyon bölgesinden kanamayı kontrol etmeye ve kazara perforasyon komplikasyonları ile yaşandığı gibi alanı dezenfekte etmeye ve temizlemeye yardımcı olacaktır. Bununla birlikte, büyük

perforasyonlarda düşük konsantrasyonlu hipoklorit solüsyonları kullanılmalı veya klorheksidin gibi diğer irriganlar düşünülmelidir.

Rezorbe olan kök kanalının şekli, kanalın tüm alanlarına alet erişimini engeller. Eğeleme işlemi diş yapısını gereğinden fazla zayıflatacağından, rezorpsiyona düz hat erişimi oluşturmak birçok durumda yapılamaz. Bu, internal rezorpsiyonların tedavisi için ultrasonik kullanımının savunulmasının bir nedenidir (Stamos & Stamos, 1986). Ultrasonik, bir irriganın kök kanal sisteminin tüm alanlarına nüfuz etmesini kolaylaştırabilir ve kanaldaki gevşek nekrotik dokuyu kırabilir (Şekil 17). Rezorpsiyonun en uzak bölgelerine daha iyi ulaşmak için, el aletleri, rezorpsiyon boşluğunun duvarları ile teması sağlamaya ve tüm yumuşak dokuyu çıkarmaya yardımcı olmak için genellikle uçtan 1–4 mm uzaklıkta bükülür. Hipoklorit ve ultrasonik kullanımı en zorlu alanların temizlenmesinden esas olarak işlev üstlenmiş olsa da, dikkatli mekanik temizliğin önemi küçümsenmemelidir.

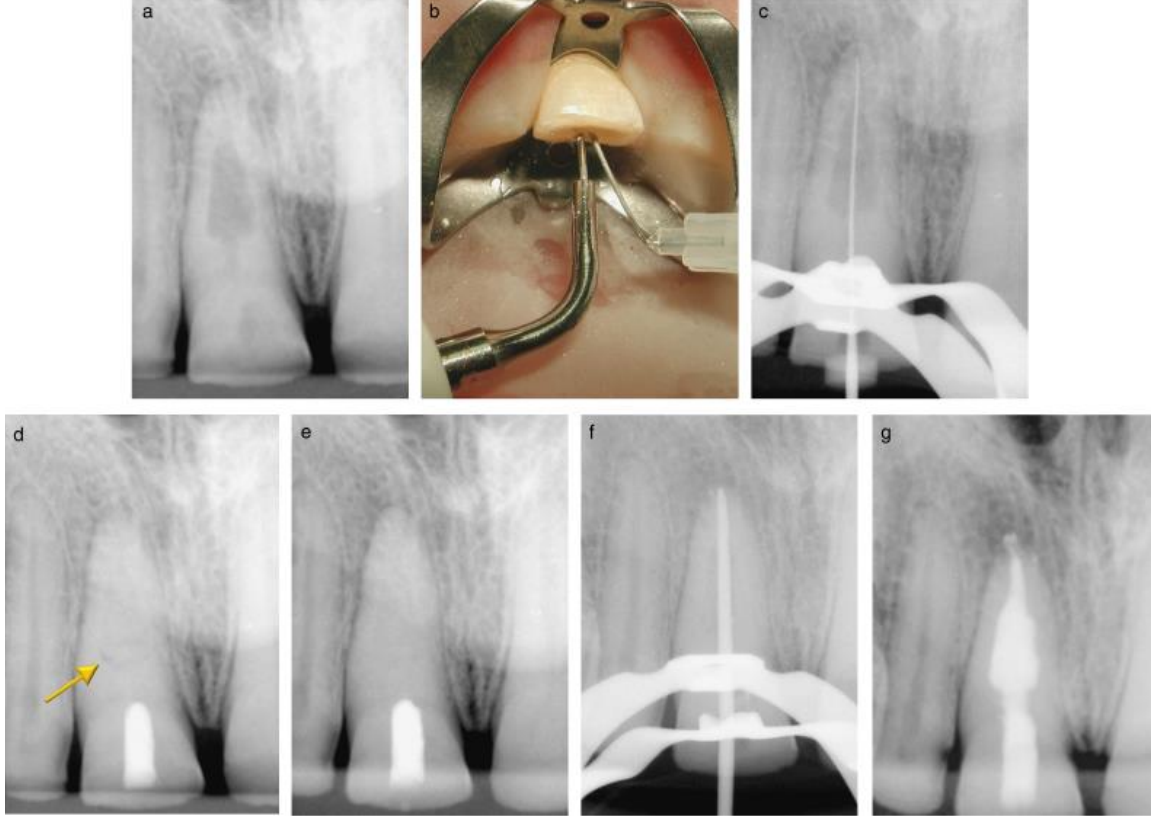
İTERNAL KÖK REZORPSİYONLARINDA KANAL İÇİ MEDİKAMENT KULLANIMI

Kanal içi ara medikament, endodontik tedavilerde esas olarak dezenfeksiyon prosedürlerinin etkisini maksimize etmek için kullanılmaktadır (Spangberg & Haapasalo, 2002). İnternal rezorpsiyon tedavisinde, kalsiyum hidroksit kullanımının iki önemli amacı daha vardır: kanamayı kontrol etmek ve kalan pulpa dokusunu nekrotize etmek ve nekrotik dokuyu sodyum hipoklorite daha çözünür hale getirmek (Şekil 17). Aletlerin rezorpsiyon boşluğunun tüm alanlarına sınırlı erişiminden dolayı, kanalı tamamen temizlemek için kimyasal çözücülere de ihtiyaç vardır. Sodyum hipoklorit ve kalsiyum hidroksitin rezorbe dokuları ve diğer dokuları kök kanalından uzaklaştırmadaki etkinliği üzerine yapılan çalışmalar, bunların additif veya hatta sinerjistik bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir (Metzler & Montgomery, 1989; Morgan ve ark., 1991; Andersen ve ark., 1992; Yang ve ark., 1995; Turkun & Cengiz, 1997; Wadachi ve ark., 1998). Rezorpsiyonun perforasyona sebep olmadığı durumlarda genellikle 1 ila 2 hafta arasında kanalda kalsiyum hidroksitin kullanılması yeterlidir. Bu, kalan dokunun bir sonraki randevuda irrigasyon ve enstrümantasyonla alınmasına izin verir. Hem doku çıkarılmasını kolaylaştırmak hem de kalıcı kök dolgusu yapılmadan önce kanalın tüm kalsiyum hidroksitten temizlenmesi için ultrasonikler önerilir.

Perforasyon oluşturmuş internal rezorpsiyonlarda, perforasyon bölgesinin tamamen iyileşmesini sağlamak için 1 yıla kadar uzun süreler için kalsiyum hidroksit tedavisi uygulanmıştır (Barclay, 1993; Benenati, 2001). Kısa süreli veya uzun süreli kalsiyum hidroksit tedavisi ile tedavi edilen perforasyon oluşturmuş internal rezorpsiyonların uzun vadeli prognozuna ilişkin karşılaştırmalı çalışma yoktur. Bununla birlikte, yeni bir malzeme olan mineral trioksit agregatın (MTA) internal rezorpsiyon için önerilen dezenfeksiyon protokolünü değiştirmesi mümkündür. İki meta-analizi içeren bir dizi yeni

çalışma, MTA'nın birinci molar dişlerin pulpotomilerinde formokresolden üstün olduğunu göstermiştir (Peng ve ark., 2006; Innes, 2007; Aeinehchi ve ark., 2007). İki materyal arasında dikkate değer bir fark, MTA gruplarında tedaviyi takiben rezorpsiyon komplikasyonlarının olmamasıydı. Retrograd dolgu malzemesi olarak MTA'nın mükemmel performansı iyi bilinmektedir ve genç daimi kesici dişlerin kök kanalının tamamını MTA ile doldurulabileceği bildirilmiştir (Karp ve ark., 2006). Son zamanlarda, internal rezorpsiyon boşluğunun MTA ile doldurulması gerektiği bildirilmiştir (Sari & Sonmez, 2006). Henüz klinik çalışmalardan elde edilen uzun vadeli sonuçlarla desteklenmese de, gelecekte perfore internal rezorpsiyonların tedavisinin kök kanalının kemomekanik temizliği ve dezenfeksiyonundan sonra ve perforasyon bölgesi kısa süreli kalsiyum hidroksit tedavisi uygulanır. İkinci randevuda, herhangi bir klinik semptom yoksa, rezorpsiyon boşluğu MTA ile doldurulacaktır.

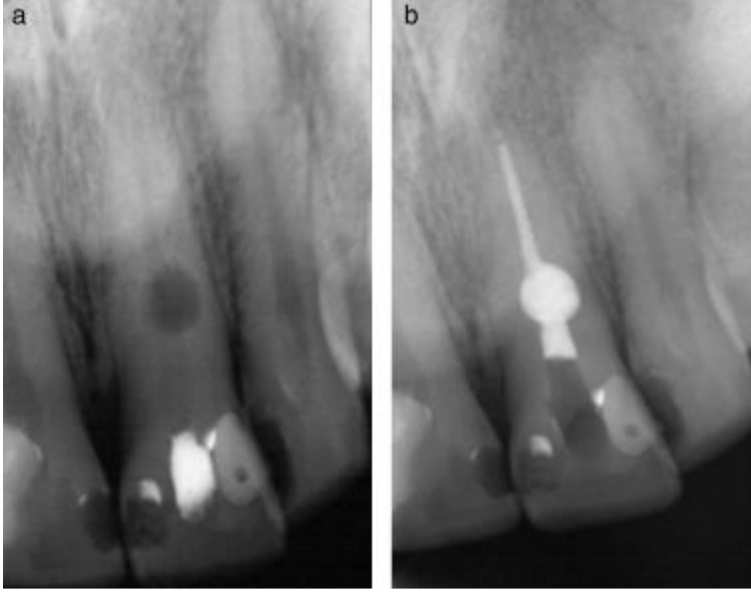
Şekil 17 (a) Dentinogenezis imperfekta bir hastanın kökün orta kısmındaki internal enflamatuar kök rezorpsiyonu. Kök kanalı nekrotiktir ve radyografide küçük bir apikal lezyon görülebilir. (b) İnternal inflammatuar kök rezorpsiyonu olan bir dişte ultrasonik ve sodyum hipoklorit ile irrigasyonun aynı anda kullanılması. (c) Dişin çalışma uzunluğu radyografisi. (d) Kalsiyum hidroksit, kök kanalı ve rezorpsiyonun doldurulması. Ok ile gösterilen , muhtemelen rezorpsiyonda kalan doku kalıntısı nedeniyle tamamen kalsiyum hidroksit ile doldurulmamış bir alanı gösterir. (e) İkinci randevuda sodyum hipoklorit ile irrigasyon ve ultrasonik kullanımı dahil kemomekanik enstrümantasyon tekrarlandı. Kalsiyum hidroksit ile doldurulmasının ardından rezorpsiyon alanında boş alanlar görülememiştir. (f) Üçüncü randevunun sonunda dişin ana kon ile radyografisi. (g) Kök kanalının sıcak vertikal kondezyasyon yöntemi kullanılarak güta-perka ve kanal dolgu maddesi ile doldurulmuş internal rezorpsiyonlu diş gösteren son bir radyografi (Haapasalo & Endal, 2006)



KÖK KANALLARININ DOLDURULMASI VE İNTERNAL KÖK REZORPSİYONU

İnternal rezorpsiyonlu dişlerin daimi kök kanal dolgularında öncelik verilmesi gereken malzemeler ve teknikler konusunda genel kabul görmüş bir fikir birliği yoktur. Bununla birlikte, vaka raporları ve klinik deneyimler, sıcak gutaperka kök kanal doldurma yöntemlerinin genellikle diğer tekniklere göre tercih edildiğini göstermektedir (Şekil 17-20) (Stamos & Stamos, 1986; Caliskan & Turkun, 1997; Herrin & Ludington, 1990; Mangani & Ruddell, 1994; Eidelman ve ark., 1997). Bununla birlikte, rezorpsiyon ile perforasyon olan durumlarda, antimikrobiyal özellikleri ve daha iyi sızdırmazlığı nedeniyle gutaperka yerine MTA düşünülmelidir. MTA ayrıca dokular tarafından çok iyi tolere edilir. MTA taşıyıcıları, ultrasonikler, paper pointler ve pluggerlar ile MTA'nın yerleştirilmesi yapılan kök kanalı dolumunun radyografik kontrolü, başarı ve yüksek kaliteli bir doldurma sağlamak için çok önemli faktörlerdir (Şekil 21). Kök kanalının koronal üçte birlik kısmında büyük bir rezorpsiyon boşluğu bulunan dişlerde, diş güçlendirmek ve diş kırılmasına karşı daha dirençli hale getirmek için kompozit malzeme kullanımı düşünülmelidir (Eidelman ve ark., 1997).

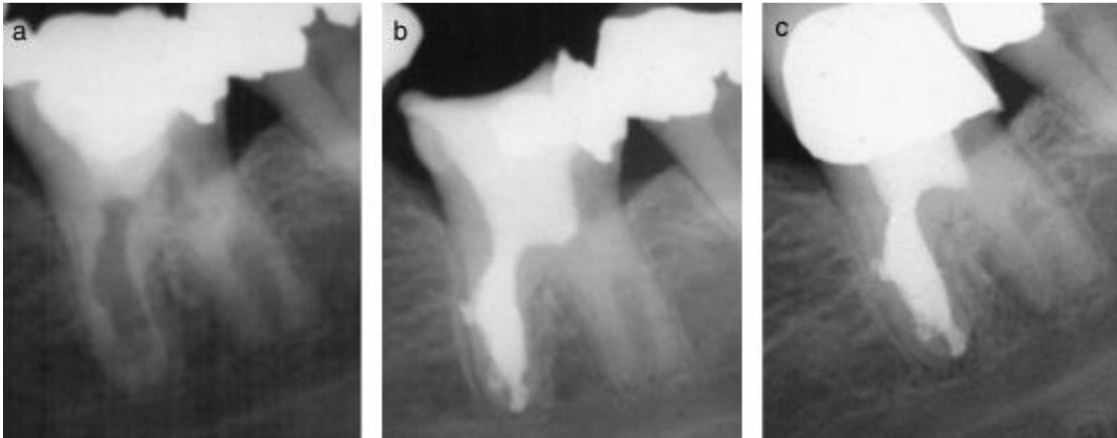
Şekil 18 (a) İnternal inflamatuvar kök rezorpsiyonlu maksiller santral kesici diş. (b) Kanal tedavisinden sonra diş. Kalsiyum hidroksit uygulandıktan sonra, kanal ve rezorpsiyon, bir MacSpadden kompaktör kullanılarak sıcak güta perka tekniği ile doldurulmuştur.(termomekanik teknik) (Haapasalo & Endal, 2006)



Şekil 19 Tedaviden sonra internal inflamatuvar kök rezorpsiyonlu maksiller santral kesici diş (Haapasalo & Endal, 2006)



Şekil 20 (a) İnternal kök rezorpsiyonuna sahip mandibular molar diş, koronalden mezial kökün apikal kısmına kadar uzanır. (b) Mezial kök temizlendi, irriganlar ve kalsiyum hidroksit ile dezenfekte edildi ve sıcak vertikal kompaksiyon ile doldurulmuştur. Kök kanalı doldurulduğunda iki alanda kök perforasyonu tespit edildi. Distal kök kanalı, kök kanal boşluğunun geri kalanından kalın bir dentin köprüsü ile ayrıldığı ve görünürde herhangi bir rezorpsiyon olmaksızın vital olduğu kabul edildi. (c) Rezorpsiyonun endodontik tedavisi tamamlandıktan 2 yıl sonra aynı dişin radyografisi (Haapasalo & Endal, 2006)

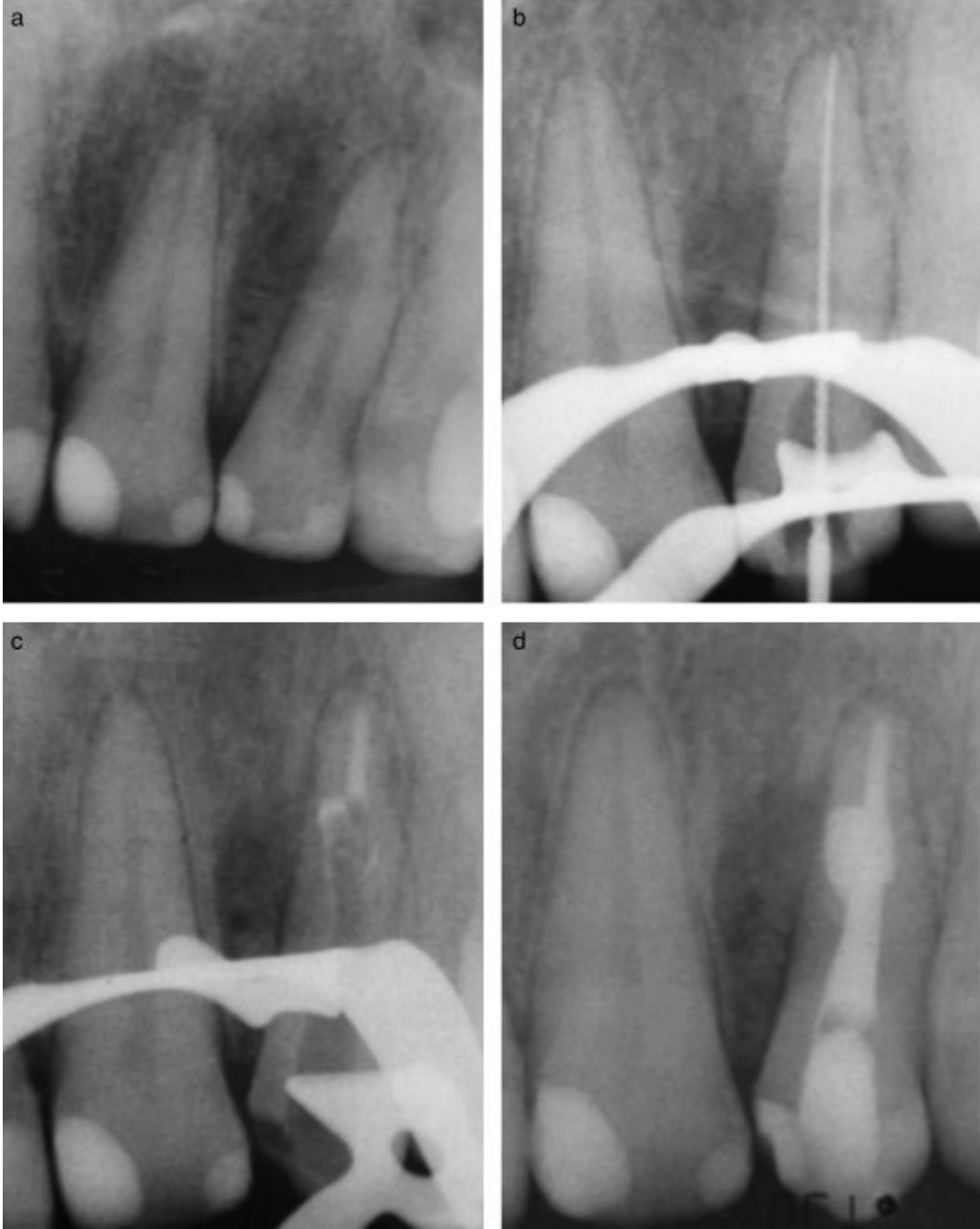


İTERNAL İNFLAMATUAR KÖK REZORPSİYONUN TEDAVİSİNİN PROGNOZU

Nadir görülen internal enflamatuar kök rezorpsiyonunun yapılan tedaviler ışığında, rezorpsiyon tedavisinin sonucu ve prognozu ile ilgili çok az çalışma olması şaşırtıcı değildir. Çalışkan ve Türkün (Caliskan & Turkun, 1997) yaptıkları çalışmada internal kök rezorpsiyonlu dişlerin endodontik tedavisinin başarısını rapor etmişlerdir. Yirmi sekiz diş internal rezorpsiyon nedeniyle çalışmaya dahil edilmiş ve bunlardan 20'si konservatif endodontik tedavi ile tedavi edilmiş. Dişlerin on altısında, perforasyon yoktur ve internal inflamatuvar kök rezorpsiyonuna sahiptir sonuç olarak tedaviye iyi yanıt vermiştir. Bununla birlikte, uzun süreli kalsiyum hidroksit tedavisi ile tedavi edilen perforasyonlu dişlerde, dört vakadan sadece birinde olumlu sonuç göstermiştir. Başarısız olan üç vaka daha sonra cerrahi olarak tedavi edildi ve üç vakanın ikisinde başarı sağlanmıştır. Geri kalan vakada, geniş marjinal kemik kaybı ve artan diş mobilitesi nedeniyle diş kaybedilmiştir.

İnternal kök rezorpsiyonlu dişlerin tedavisinin uzun vadeli prognozuna ilişkin takip çalışmalarının eksikliği açık olsa da, klinik deneyime ve vaka raporlarına dayalı olarak tedavinin prognozunun perfore olmamış ve diş yapısının kaybı nedeniyle dişin fazla zayıflamadığı vakalar için oldukça iyi hatta mükemmel olduğuna dair genel bir fikir birliği vardır (Stamos & Stamos, 1986; Caliskan & Turkun, 1997; Herrin & Ludington, 1990; Mangani & Ruddle, 1994; Eidelman ve ark., 1997).

Şekil 21 (a) Perfore olmuş internal enflamatuar kök rezorpsiyonuna sahip bir maksiller lateral kesici diş. (b) Kemomekanik hazırlık ve bol miktarda sodyum hipoklorit ile irigasyondan sonra endodontik tedaviye başlandı ve kanal kalsiyum hidroksit ile dolduruldu. (c) İkinci randevuda kanalın apikal kısmı MTA ile dolgusu yapıldı. MTA dolgusunun kalitesi (gözeneklilikleri) daha fazla malzeme eklemekten önce bir radyografi ile kontrol edilmelidir. (d) Apikal kısım ve lezyon bölgesi MTA ile doldurulur ve kanalın koronal kısmı gutta perka ile kök dolgusu tamamlanmıştır (Haapasalo & Endal, 2006)



SONUÇ

İnternal inflamatuvar rezorpsiyon, dişin kök kanalından başlayıp çevresindeki diş yapısını tahrip eden nadir görülen bir rezorpsiyondur. Rezorpsiyondan sorumlu odontoklast hücreleri yapısal ve fonksiyonel olarak kemik osteoklastlarına benzer. İnternal rezorpsiyonun teşhisi çoğu durumda basittir, ancak bazı durumlarda CT taraması gibi

gelişmiş teşhis tekniklerinin kullanılmasını gerektirebilir. İnternal rezorpsiyonunun tedavisinin prognozu, rezorpsiyonla diş çok fazla zayıflamadıkça iyidir. Uygun tedavi ve modern endodontik tekniklerin ve materyallerin kullanılmasıyla, perfore olan vakaların bile prognozu oldukça iyidir.

BÖLÜM 4

ENDODONTİDE KEŞİF VE REHBER YOL HAZIRLAMA

BİRCAN KULOĞLU¹

Giriş

Endodontik tedavinin başarısı, kök kanal sisteminin biyomekanik olarak etkin, güvenli şekilde şekillendirilmesine bağlıdır (Peters, 2004; Schilder, 1974). Kök kanallarının karmaşık anatomisi, şekillendirme sırasında basamak oluşumu, kanal transportasyonu ve eğe kırılması gibi iatrojenik hatalara zemin hazırlamaktadır (Hülsmann, Peters, & Dummer, 2005). Günümüzde modern nikel-titanyum (NiTi) döner eğe sistemleri bu süreci kolaylaştırırsa da, bu eğelerin güvenli kullanımı belirli ön aşamaların eksiksiz uygulanmasını gerektirir (Walia, Brantley, & Gerstein, 1988).

Endodontide keşif (scouting) ve rehber yol (glide path) oluşturma kanal şekillendirme öncesinde uygulanan ve birbirini tamamlayan temel basamaklardır (West, 2010). Bu bölümde, söz konusu aşamalar güncel literatür ışığında ele alınacaktır.

¹ Arş. Gör., Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, 0009-0007-5396-8073

Endodontide Keşif (Scouting)

Kök kanallarının keşfi, kanalın açıklığını ve kanal eğelerin korondan apikale doğru ilerlemesine karşı gösterdiği direnci incelemek olarak tanımlanır (Ruddle, 2002). Keşif işleminin amacı, tedavi edilecek her bir kanalın anatomisi, şekli, yapısal özellikleri ve klinik durumu hakkında bilgi edinmektir (R. E. Mounce, 2006) .

Genellikle #6, #8 ve #10 paslanmaz çelik K-eğeler tercih edilir. Kanalın keşfi için ideal özelliklere sahip çeşitli tipte özel elle kullanılan kanal eğeleri de bulunmaktadır (Allen, Glickman, & Griggs, 2007). Bu eğeler çoğu zaman önceden eğim (pre-curving) verilerek kanal girişine yönlendirilir. Önceden eğim verilmesi ve kanal içinde hafif ileri-geri hareketler, kanalın doğal anatomisine uyumlu ilerlemeyi sağlar. Bununla birlikte yeterli irrigasyon yapılması, debris birikimini azaltarak keşfi kolaylaştırır.

Keşif aşaması, yalnız kanalın bulunmasını değil kanal morfolojisinin tanınmasını da sağlar. Keşif aşaması atlandığında basamak oluşumu, kanal transportasyonu veya eğe kırılması riski artar (Hulsmann, Gressmann, & Schafers, 2003). Özellikle kalsifiye ve dar kanallar için manuel keşif, döner eğelerin güvenli kullanılması için önemlidir (Vertucci, 1984).

Rehber Yol (Glide Path) Oluşturma

90'ların ortalarında NiTi döner eğelerin piyasaya sürülmesi, elastikiyet modülleri ve dolayısıyla kavisli

kanallardaki dentin duvarları üzerinde daha küçük kuvvetlerin uygulanması nedeniyle şekillendirme prosedürlerinde devrim yarattı (Walia et al., 1988). NiTi döner eğelerin temel avantajları paslanmaz çelik eğelere kıyasla kısa sürede kök kanalına iyi bir koniklik sağlarken operatör yorgunluğunu azaltmasıdır (Schäfer, 2017). Paslanmaz çelik eğelere göre büyük avantajlarına rağmen, NiTi döner eğelerin en büyük dezavantajı, döngüsel yorgunluk ve torsiyonel yorgunluk nedeniyle yüksek kırılma riskidir (Martin et al., 2003; Spanaki-Voreadi, Kerezoudis, & Zinelis, 2006). Torsiyonel yorgunluk, eğenin kesme bıçağı ile dentin duvarları arasında büyük bir temas alanı olduğunda (Peters, Peters, Schonenberger, & Barbakow, 2003), kök kanalının enine kesiti eğenin ucunun enine kesitinden daha dar olduğunda (Peters et al., 2003) veya şekillendirme prosedürleri sırasında ege üzerinde aşırı bir apikal basınç uygulandığında ortaya çıkar (Kobayashi, Yoshioka, & Suda, 1997). Bu da dar kanallarda eğenin sıkışabilmesine (Berutti et al., 2009), dolayısıyla eğenin kanal içerisinde kırılması gibi çeşitli iatrojenik hatalara yol açabilir (Hülsmann et al., 2005). Torsiyonel yorgunluğu azaltmak ve döner eğenin kesmeyen ucu nedeniyle oluşabilecek apikalde sıkışma etkisine karşı koymak için bir rehber yol oluşturulması savunulmuştur (Berutti, Negro, Lendini, & Pasqualini, 2004).

Rehber yol (glide path), döner eğelerin güvenli çalışabilmesi için kanal boyunca apikal bölgeye kadar uzanan pürüzsüz bir yolun oluşturulması olarak tanımlanır (Patino, Biedma, Liebana, Cantatore, & Bahillo, 2005). West (West,

2010), kanal ağızlarının girişinden apikal daralım noktasına kadar uzanan engelsiz bir yol olarak tanımlamıştır.

Rehber yol terimi aslında havacılık dünyasından gelmektedir ve bir uçağın özellikle yer radarı tarafından gösterildiği şekilde iniş rotasını ifade eder. Her iki tanım da ‘düzgün’ ve ‘zorlanmadan’ elde edilmesi vurgulanan kavramlar olup, oldukça farklı alanlarda benzer bir anlam taşımaktadır. Rehber yol oluşturulması; NiTi döner eğeler üzerindeki torsiyonel ve döngüsel stresin azalmasını, kanal transportasyonu riskinin düşmesini, eğenin kırılma olasılığının azalmasını sağlar (Berutti et al., 2004; Ha & Park, 2012).

Günümüzde, çoğu NiTi döner ege üreticileri, koronal engelleri ortadan kaldırmak (de Oliveira Alves et al., 2012), orijinal kanal anatomisine saygı duymak (Coelho, Fontana, Kato, de Martin, & da Silveira Bueno, 2016) ve iatrojenik hataların ve debrisin apikal ekstrüzyon sıklığını azaltmak için NiTi döner eğeler ile şekillendirmeden önce bir rehber yol oluşturulmasını önermektedir (Gunes & Yesildal Yeter, 2018).

Rehber Yol Oluşturma Yöntemleri

Literatürde rehber yol oluşturma yöntemleri temel olarak manuel, rotary, resiprokal ve hibrit yöntemler olarak sınıflandırılmaktadır (Burklein & Schafer, 2012).

Manuel Rehber Yol Oluşturma

Manuel rehber yol oluşturmada paslanmaz elik K-tipi eğeler kullanılmaktadır. K-tipi eğe ile rehber yol oluşturmak NiTi döner eğelerle karşılaştırıldığında parmak hassasiyetinin olması, eğenin kırılma potansiyelinin daha az olması, daha ucuz olması, kullanırken başlığa ihtiyaç duyulmaması nedeniyle avantajlıdır (R. Mounce, 2005). Fakat operatöre el yorgunluğu yaratması, daha fazla zaman alması, kalın eğe kullanımının komplikasyon oluşturma riski yaratması, orjinal kanal yapısında değişiklik oluşturabilmesi gibi dezavantajlara sahiptir (Berutti et al., 2009).

Örnekler:

Paslanmaz elik K- tipi eğe #6, #8, #10, #15
(Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre)

K- tipi eğe (paslanmaz elik) (Mani, Toyohashi,
Japonya)

ISO standart K- tipi eğeler (VDW, Münih, Almanya)

Rotary NiTi Döner Eğeler İle Rehber Yol Oluşturma

Rotary NiTi döner eğeler ile rehber yol oluşturma, sürekli rotasyon hareketiyle çalışan özel glide path NiTi döner eğeleri kullanılarak gerçekleştirilir. Bu eğeler, manuel keşif sonrası oluşturulan patensi genişleterek döner şekillendirme sistemleri için uygun bir zemin hazırlar (Patino et al., 2005).

Döner rehber yol sistemlerinin, manuel yöntemle kıyasla daha kısa sürede ve daha homojen bir genişletme sağladığı bildirilmiştir (Pasqualini et al., 2012). Bununla birlikte, bu sistemlerin güvenli kullanımı için öncesinde en az #10 K-eğesi ile apikal patensin sağlanmış olması önerilmektedir (Berutti et al., 2004). Manuel rehber yol oluşturulmadan doğrudan döner glide path eğesi kullanımının, alet kırılması riskini artırabileceği belirtilmiştir (Sattapan, Nervo, Palamara, & Messer, 2000).

Şekillendirme zamanının kısalması, kanalda basamak ve transportasyon gibi komplikasyonların azalması, orijinal kanal anatomisinin daha iyi korunması, operatörün el yorgunluğunun azalması, debris ekstrüzyonunun azalması, işlem sonrası ağrının daha az olması avantajlarıdır. Fakat daha pahalı olması, eğenin kırılma riskinin fazla olması, parmak hassasiyeti daha az olması gibi dezavantajlara sahiptir (Berutti et al., 2004).

Günümüze kadar döner aletler ile rehber yol oluşturmak için birçok sistem üretilmiştir ve bu sistemleri geliştirmek için çalışmalar halen devam etmektedir. Rehber yol oluşturmak için kullanılan rotary NiTi döner eğeler;

ProGlider (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre)

ProGlider, tek eğe sistemi ile rehber yol oluşturmayı sağlayan NiTi döner eğe olarak tasarlanmıştır. M-Wire alaşımı sayesinde esnekliği artarken değişken koniklik açısı,

kanalın hem koronal hem de apikal bölgesine uyum sağlar. ProGlider'ın ISO boyutu 16'dır ve eğenin ucundan yukarıya doğru devamlı değişen konik tasarımı koronal bölgede daha fazla genişletme sağlamaktadır. Üretici firma, 300 rpm'de ve 2 N/cm'lik torkta kullanmayı önermektedir.

Path File Sistemi (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre)

PathFile sistemi, rotary rehber yol serisi olarak geliştirilmiş bir settir. Tipik olarak üç ege seti; #13/.02, #16/.02, #19/.02 şeklinde ardışık genişleyen konikliklere sahiptir. Bu yapı, kanal boyunca kademeli genişlemeye olanak vererek güvenli bir rehber yol oluşumu sağlar. Eğelerin uçları kanalda basamak oluşumunu engellemek için yuvarlatılmıştır. Kare kesite sahiptir ve bu eğelerin torsiyonel streslere karşı daha dirençli olmalarını sağlar. Dört kesici kenara sahip olması eğenin kesme etkinliğini arttırır. Üretici firma, 300 rpm'de ve 2 N/cm'lik torkta kullanmayı önermektedir. PathFile, literatürde sıkça diğer rehber yol eğeleri ile karşılaştırmalı çalışmalarda yer almaktadır (Lup, Malvicini, Gaeta, Grandini, & Ciavoi, 2024).

One G (Micro-Mega, Besançon, Fransa)

One G, tek aşamalı rehber yol eğesi olarak tasarlanmıştır. ISO #14 boyutu ve %3 konikliği ile kanal boyunca tutarlı bir genişletme sağlar. Eğenin vidalama etkisini azaltmak amacıyla kesici kenar üzerindeki değişken

oyuklar bulunmaktadır. Kesit tasarımı, düzensiz yüzeylerde dahi kanal anatomisine uyumu destekler.

ScoutRace (FKG Dentaire, La Chaux-de- Fonds, İsviçre)

ScoutRace eğeleri 10/0.02, 15/0.02, 20/0.02 boyutlarında 3 farklı eğesi vardır. Eğelere elektrokimyasal olarak yüzey parlatma işlemi uygulanmıştır. Yüksek esneklik sunar ve özellikle dar ya da eğri kanallarda başlangıç rehber yolunu açmak için uygundur. Üretici firma 800-600 rpm hızla ve 1 N/cm tork ayarında kullanımı önermektedir.

Edge Glide Path (EdgeEndo, Albuquerque, ABD)

Edge Glide Path, ısı ile işlenmiş NiTi alaşımı sayesinde daha fazla esneklik ve yüksek kırılma direnci sunar. Bu özellik, özellikle eğri kanallarda torsiyonel stresi azaltmak üzere tasarlanmıştır (Ashkar, Sanz, & Forner, 2022).

HyFlex EDM Glidepath (Coltene/Whaledent Inc, Ohio, ABD)

HyFlex EDM Glidepath, elektrik deşarj işleme (EDM) ile üretilmiş bir NiTi glide path egesidir. EDM işlemi, yüzey yapısında yüksek dayanım ve esneklik sağlar. HyFlex EDM Glidepath tipik olarak ISO #15 uç çapı ve sabit %3 konikliktedir.

Resiprokal NiTi Döner Eğeler İle Rehber Yol Oluşturma

Resiprokal rehber yol oluşturma, eğenin saat yönü ve ters yönlü açısal hareketlerle çalıştığı sistemler aracılığıyla gerçekleştirilir. Bu hareket paterni, eğe üzerinde oluşan torsiyonel stresin azalmasına katkı sağlar. Resiprokal rehber eğelerin, özellikle eğimli kanallarda daha iyi merkezleme sağladığı ve kanal transportasyonu riskini azalttığı bildirilmiştir (Lup et al., 2024). Ancak bu sistemlerin de manuel keşif ve apikal patensi sağlanmadan kullanılmaması gerektiği vurgulanmaktadır.

WaveOne Gold Glider (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre)

WaveOne Gold Glider, resiprokal hareketle çalışan tek eğe konseptinde geliştirilmiş bir rehber yol eğesidir. Gold-wire metalurjisi ile esnekliği arttırılmıştır. Eğe u kısmında %2 ile başlayan koronalde %6'ya ulaşan konikliğe sahiptir ve u çapı 0.15 mm'dir.

Reciproc Blue Glide Path (VDW, Münih, Almanya)

Reciproc Blue Glide Path, mavi ısıl işlemli NiTi alaşımı ile üretilmiş olup resiprokal hareket prensibiyle çalışır. Isıl işlem, eğenin esnekliğini artırarak özellikle eğimli ve dar kanallarda güvenli rehber yol oluşturulmasına katkı sağlar. Bu sistem, Reciproc Blue şekillendirme eğeleri ile uyumlu olacak şekilde tasarlanmıştır ve torsiyonel stresin azaltılmasında etkili olduğu gösterilmiştir (De-Deus et al., 2017).

EndoSequence Glide Path (Brasseler, USA)

EndoSequence Glide Path eğeleri, ısıtılmış NiTi alaşımı ile üretilmiş olup hem sürekli rotasyon hem de resiprokal motorlarla uyumlu şekilde kullanılabilir. Sabit koniklik ve esnek alaşım özellikleri sayesinde kanal anatomisine uyumlu bir rehber yol oluşturmayı amaçlar.

Hibrit Rehber Yol Oluşturma

Hibrit yaklaşım, manuel ve rehber yol oluşturma yöntemlerinin ardışık olarak kullanılmasıdır. Bu yöntemde genellikle:

1. Manuel paslanmaz çelik K-tipi eğeler ile keşif ve apikal patensi,
2. Manuel rehber yolun genişletilmesi,
3. Rotary veya resiprokal NiTi döner eğesi rehber yol standardize edilmesi şeklindedir (Roland, Andelin, Browning, Hsu, & Torabinejad, 2002).

Literatürde hibrit yaklaşımın, en güvenli rehber yol oluşturma yöntemi olarak kabul edildiği bildirilmektedir (Peters, Schonenberger, & Laib, 2001).

Sonuç

Endodontik tedavide kanal şekillendirmenin güvenli ve öngörülebilir şekilde gerçekleştirilebilmesi, kanal keşfi ve rehber yol oluşturma basamaklarının doğru uygulanmasına

bağlıdır. Kanal keşfi, anatomik yapıların tanınması ve apikal patensinin sağlanması açısından temel bir aşama olup, rehber yol oluşturulması ise NiTi döner eğeler üzerindeki torsiyonel ve döngüsel stresi azaltarak iatrojenik komplikasyon riskini düşürmektedir. Manuel, rotary ve resiprokal rehber yol oluşturma yöntemlerinin birlikte kullanıldığı hibrit yaklaşım, hem yüksek kontrol hem de standardizasyon sağlaması nedeniyle güncel literatürde en güvenli yöntem olarak kabul edilmektedir. Klinik başarıyı artırmak amacıyla, kanal anatomisine ve vaka özelliklerine uygun rehber yol oluşturma protokolünün seçilmesi modern endodontik tedavinin temel prensiplerinden biridir.

Kaynakça

- Allen, M. J., Glickman, G. N., & Griggs, J. A. (2007). Comparative analysis of endodontic pathfinders. *J Endod*, 33(6), 723-726. doi:10.1016/j.joen.2007.02.001
- Ashkar, I., Sanz, J. L., & Forner, L. (2022). Cyclic Fatigue Resistance of Glide Path Rotary Files: A Systematic Review of in Vitro Studies. *Materials (Basel)*, 15(19). doi:10.3390/ma15196662
- Berutti, E., Cantatore, G., Castellucci, A., Chiandussi, G., Pera, F., Migliaretti, G., & Pasqualini, D. (2009). Use of nickel-titanium rotary PathFile to create the glide path: comparison with manual preflaring in simulated root canals. *J Endod*, 35(3), 408-412. doi:10.1016/j.joen.2008.11.021
- Berutti, E., Negro, A. R., Lendini, M., & Pasqualini, D. (2004). Influence of manual preflaring and torque on the failure rate of ProTaper rotary instruments. *J Endod*, 30(4), 228-230. doi:10.1097/00004770-200404000-00011
- Burklein, S., & Schafer, E. (2012). Apically extruded debris with reciprocating single-file and full-sequence rotary instrumentation systems. *J Endod*, 38(6), 850-852. doi:10.1016/j.joen.2012.02.017

- Coelho, M. S., Fontana, C. E., Kato, A. S., de Martin, A. S., & da Silveira Bueno, C. E. (2016). Effects of Glide Path on the Centering Ability and Preparation Time of Two Reciprocating Instruments. *Iran Endod J*, 11(1), 33-37. doi:10.7508/iej.2016.01.007
- de Oliveira Alves, V., da Silveira Bueno, C. E., Cunha, R. S., Pinheiro, S. L., Fontana, C. E., & de Martin, A. S. (2012). Comparison among manual instruments and PathFile and Mtwo rotary instruments to create a glide path in the root canal preparation of curved canals. *Journal of Endodontics*, 38(1), 117-120.
- De-Deus, G., Silva, E. J., Vieira, V. T., Belladonna, F. G., Elias, C. N., Plotino, G., & Grande, N. M. (2017). Blue Thermomechanical Treatment Optimizes Fatigue Resistance and Flexibility of the Reciproc Files. *J Endod*, 43(3), 462-466. doi:10.1016/j.joen.2016.10.039
- Gunes, B., & Yesildal Yeter, K. (2018). Effects of Different Glide Path Files on Apical Debris Extrusion in Curved Root Canals. *J Endod*, 44(7), 1191-1194. doi:10.1016/j.joen.2018.04.012
- Ha, J. H., & Park, S. S. (2012). Influence of glide path on the screw-in effect and torque of nickel-titanium rotary files in simulated resin root canals. *Restor Dent*

Endod, 37(4), 215-219.
doi:10.5395/rde.2012.37.4.215

Hulsmann, M., Gressmann, G., & Schafers, F. (2003). A comparative study of root canal preparation using FlexMaster and HERO 642 rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J*, 36(5), 358-366. doi:10.1046/j.1365-2591.2003.00664.x

Hülsmann, M., Peters, O. A., & Dummer, P. M. (2005). Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. *Endodontic topics*, 10(1), 30-76.

Kobayashi, C., Yoshioka, T., & Suda, H. (1997). A new engine-driven canal preparation system with electronic canal measuring capability. *J Endod*, 23(12), 751-754. doi:10.1016/S0099-2399(97)80349-4

Lup, V. M., Malvicini, G., Gaeta, C., Grandini, S., & Ciavoi, G. (2024). Glide Path in Endodontics: A Literature Review of Current Knowledge. *Dent J (Basel)*, 12(8). doi:10.3390/dj12080257

Martin, B., Zelada, G., Varela, P., Bahillo, J. G., Magan, F., Ahn, S., & Rodriguez, C. (2003). Factors influencing the fracture of nickel-titanium rotary instruments. *Int*

Endod J, 36(4), 262-266. doi:10.1046/j.1365-2591.2003.00630.x

Mounce, R. (2005). Endodontic K-files: invaluable endangered species or ready for the Smithsonian? *Dent Today*, 24(7), 102, 104.

Mounce, R. E. (2006). Endodontic techniques for scouting the apical thirds of root canals. *J Calif Dent Assoc*, 34(3), 209-212.

Pasqualini, D., Bianchi, C. C., Paolino, D. S., Mancini, L., Cemenasco, A., Cantatore, G., . . . Berutti, E. (2012). Computed micro-tomographic evaluation of glide path with nickel-titanium rotary PathFile in maxillary first molars curved canals. *J Endod*, 38(3), 389-393. doi:10.1016/j.joen.2011.11.011

Patino, P. V., Biedma, B. M., Liebana, C. R., Cantatore, G., & Bahillo, J. G. (2005). The influence of a manual glide path on the separation rate of NiTi rotary instruments. *J Endod*, 31(2), 114-116. doi:10.1097/01.don.0000136209.28647.13

Peters, O. A. (2004). Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *J Endod*, 30(8), 559-567. doi:10.1097/01.don.0000129039.59003.9d

Peters, O. A., Peters, C. I., Schonenberger, K., & Barbakow, F. (2003). ProTaper rotary root canal preparation: assessment of torque and force in relation to canal anatomy. *Int Endod J*, 36(2), 93-99. doi:10.1046/j.1365-2591.2003.00628.x

Peters, O. A., Schonenberger, K., & Laib, A. (2001). Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. *Int Endod J*, 34(3), 221-230. doi:10.1046/j.1365-2591.2001.00373.x

Roland, D. D., Andelin, W. E., Browning, D. F., Hsu, G. H., & Torabinejad, M. (2002). The effect of preflaring on the rates of separation for 0.04 taper nickel titanium rotary instruments. *J Endod*, 28(7), 543-545. doi:10.1097/00004770-200207000-00015

Ruddle, C. (2002). Cleaning and shaping root canal systems. In S. L. Moby (Ed.), *In Pathways of the Pulp* (8 ed., pp. 231-291).

Sattapan, B., Nervo, G. J., Palamara, J. E., & Messer, H. H. (2000). Defects in rotary nickel-titanium files after clinical use. *J Endod*, 26(3), 161-165. doi:10.1097/00004770-200003000-00008

Schäfer, E. (2017). Preparation of the root canal system. *Harty's Endodontics in Clinical Practice*. 7th ed.

Edinburgh, UK: Churchill Livingstone, Elsevier, 23-41.

Schilder, H. (1974). Cleaning and shaping the root canal. *Dent Clin North Am, 18*(2), 269-296.

Spanaki-Voreadi, A. P., Kerezoudis, N. P., & Zinelis, S. (2006). Failure mechanism of ProTaper Ni-Ti rotary instruments during clinical use: fractographic analysis. *Int Endod J, 39*(3), 171-178. doi:10.1111/j.1365-2591.2006.01065.x

Vertucci, F. J. (1984). Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 58*(5), 589-599. doi:10.1016/0030-4220(84)90085-9

Walia, H. M., Brantley, W. A., & Gerstein, H. (1988). An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. *J Endod, 14*(7), 346-351. doi:10.1016/s0099-2399(88)80196-1

West, J. D. (2010). The endodontic Glidepath: "Secret to rotary safety". *Dent Today, 29*(9), 86, 88, 90-83.

BÖLÜM 5

KÖK KANAL TEDAVİSİNDE KULLANILAN MEDİKAMENTLER VE PROGNOZ

1. GAMZE EBRAR NALBANT¹
2. DİLEK HAÑÇERLİOĞULLARI²

Giriş

Derin dentin çürükleri, travma, tekrarlayan restorasyonlar, atrizyon, abrazyon, kırık ve çatlak gibi çeşitli uyaranlara maruz kalan pulpa dokusu geri dönüşümsüz şekilde etkilenebilir ve bu tablonun ağırlaşması ile pulpa canlılığını kaybederek nekroz gelişebilir. Pulpanın geri dönüşümsüz şekilde hasarlanması ve nekroz sonucu dişlerde kök kanal tedavisi gereksinimi ortaya çıkar (European Society of Endodontology, 2006). Endodontik tedavide amaç, kök kanallarını üç boyutlu olarak şekillendirip, temizleyip, sızdırmaz şekilde doldurarak enfeksiyonu ortadan kaldırmak ve enfeksiyonun tekrar oluşumunu engellemektir (Schilder, 1974).

¹ Arş. Gör., Kırıkkale Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, Orcid: 0009-0000-0783-9069

² Dr. Öğr. Üyesi, Kırıkkale Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, Orcid: 0000-0002-0404-1200

Enfekte kök kanallarında;

- periapikal dokulardaki ve kök kanalındaki enfekte durumu kontrol altına almak,
- şekillendirme sonrası kalan bakterileri mümkün olduğunca elimine etmek,
- doku kalıntılarını nötralize etmek,
- sızıntıya karşı koruyucu bir bariyer olarak kanal içi medikamentler sıklıkla uygulanmaktadır (B. S. Chong ve Ford, 1992).

Kalsiyum Hidroksit

Apikal inflamatuvar lezyonların ana nedeni mikroorganizmalardır ve kök kanal tedavisinin amacı pulpa ve kök çevresinde meydana gelen enfeksiyonların engellenmesi ve kontrol altına alınmasıdır. Kök kanal sistemindeki mikroorganizma sayısını azaltmak için çeşitli mekanik enstrümantasyon teknikleri, irrigasyon protokolleri ve kanal içi medikamentler de dahil olmak üzere çeşitli tedavi şekilleri uygulanmaktadır. Yalnızca mekanik enstrümantasyonla kök kanal sisteminden tüm mikroorganizmaların elimine edilmesi mümkün değildir. Bu nedenle pulpa artıklarını, mikroorganizma ve yan ürünlerini kök kanalından uzaklaştırmak amacıyla kimyasal irrigasyon yöntemleri kullanılmaktadır (Kim ve Kim, 2014).

İlk kez araştırmacı Hermann tarafından, 1920 yılında, pulpa kapama ajanı olarak tanıtılan ve kokusuz beyaz toz şeklinde bulunan kalsiyum hidroksit $[Ca(OH)_2]$, günümüzde altın standart kanal içi medikament olarak kabul edilmektedir (Bhalla ve Chockattu, 2021; Mohammadi, Shalavi ve Yazdizadeh, 2012). Yüksek pH'a ve düşük çözünürlüğe sahip olan $Ca(OH)_2$, ortamda sıvı varlığında kalsiyum ve hidroksil iyonlarına ayrışmaktadır. Biyolojik etkilerinin çoğu alkali pH özelliğine bağlanmaktadır (Bun San Chong, 2016).

Tronstadve ve ark. 1981 yılında maymun dişlerinde 4 hafta Ca(OH)_2 bekleterek yaptıkları çalışmada, kanal içi pH'sının 12,2den yüksek olduğunu, Ca(OH)_2 'le doğrudan temas halinde olan dentinin pH'sının ise 8 ve 11 değerleri arasında değişmekte olduğunu bulmuşlardır. Aynı çalışmada Ca(OH)_2 'e en uzak mesafedeki dentinin pH'sının ise 7,4 ve 9,6 değerleri arasında değişmekte olduğu belirtilmiştir (Tronstad, Andreasen, Hasselgren, Kristerson ve Riis, 1981). Nerwichve arkadaşlarının 1993 yılında yaptıkları çalışma ise Ca(OH)_2 medikasyonundan sonra en hızlı pH değişikliğinin, servikal bölgedeki dentinin Ca(OH)_2 ile temas eden bölgesinde olduğunu ve 24. saatte 10,8 değerine gelerek maksimum pH'a ulaştığını göstermektedir. Yine aynı çalışma kök kanalının apikalindeki dentin yüzeyinin maksimum pH'ya iki haftada ulaşarak 9,5 değerini gösterdiği tespit edilmiştir (Siqueira Jr ve Lopes, 1999). Ca(OH)_2 , kök kanallarına homojen bir şekilde yerleştirildiğinde antibakteriyel aktiviteye sahiptir. Ca(OH)_2 antibakteriyel etkisinin yanında, fiziksel bariyer olarak görevi görmesi, kök kanalında kalan bakterilerin penetrasyonunu ve çoğalmasını kısıtlamaktadır (Paltun ve Tınaz, 2021).

Ca(OH)_2 , nekrotik dokuları çözme, kök rezorpsiyonunu engelleme ve sert doku bariyeri oluşumunu uyarma gibi optimal biyolojik özelliklere sahiptir (Cehreli, Isbitiren, Sara ve Erbas, 2011). Analjezik etkiye sahiptir ve enflamasyonu kontrol edebilmektedir. Bakteriyel hücre duvarını değiştirerek ve endotoksinlerin moleküler yapısını bozarak endodontik patojenlerin çoğuna karşı antimikrobiyal aktivite göstermektedir (Sharifi ve diğerleri, 2019). Ca(OH)_2 , endodontik patojenlere karşı geniş antimikrobiyal etki gösterirken, *Enterococcus Faecalis* ve *Candida Albicans* gibi spesifik türlere karşı daha az etkili olduğu rapor edilmiştir (Kim ve Kim, 2014). Ca(OH)_2 'i kanal duvarlarına daha kolay ve homojen yerleştirmek için çeşitli taşıyıcılar kullanılmaktadır. Ca(OH)_2 taşıyıcıları çözünürlük ve kıvamına göre

sınıflandırıldığında üçe, antimikrobiyal etkinliklerine göre sınıflandırıldığında ikiye ayrılmaktadır (Bun San Chong, 2016).

Çözünürlük ve kıvama göre ;

1. Yağlı taşıyıcılar (Zeytinyağı, silikon yağ, kafurlu paramonoklorofenol)
2. Visköz taşıyıcılar (Gliserin, polietilenglikol, propilenglikol)
3. Akışkan taşıyıcılar (Salin, distile su, anesteziik solüsyon)

Antimikrobiyal etkinliklerine göre;

1. Biyolojik olarak aktif taşıyıcılar (Klorheksidin (CHX), iyodin potasyum iyoid, Ledermix, kafurlu paramonoklorofenol, Odontopaste)
2. Durağan taşıyıcılar (Salin, distile su, anesteziik solüsyon, gliserin, propilenglikol, polietilenglikol)

Ca(OH)_2 'in antimikrobiyal etkisini değiştirmeyen, biyoyoumlu taşıyıcılar durağan taşıyıcılar olarak sınıflandırılırken, antimikrobiyal etkisine anlamlı farklılıklar katabilen taşıyıcılar biyolojik olarak aktif taşıyıcılar olarak sınıflandırılmıştır (Bun San Chong, 2016).

Dentin geçirgenliği, kalsifikasyon derecesi, Ca(OH)_2 taşıyıcısının suda çözünürlüğü ve asit-baz özellikleri, Ca(OH)_2 'in çözünme ve difüzyon hızını belirleyen faktörlerdendir (Estrela, Sydney, Pesce ve Felipe Júnior, 1995). Hidroksil iyonlarına ayrışma ve difüzyon hızının, antibakteriyel özelliğiyle doğru orantılı olduğu gösterilmiştir. Ortama sağladığı yüksek pH ile alkalen fosfataz enzim aktivitesini arttırarak, osteoblastik aktiviteyi de arttırmaktadır (Siqueira ve de Uzeda, 1998). Osteoklastik aktiviteyi ve bakterilerin enzimatik aktivitesini azaltmaktadır. Fosfolipazı

inhibe ederek hücre lizisini, dolayısıyla prostaglandin salınımını azaltır. Bu sayede anti-enflamatuar etki göstermektedir. Ca(OH)_2 , kanamayı birkaç dakika içinde durdurarak kanama kontrolü sağlamaktadır (Foreman ve Barnes, 1990; Padilla, Martínez ve Moya, 2024). Apikal bir tıkaç oluşturarak kanaldan apikal dokulara bakteri geçişini engellerken, apikal eksudanın kanal içine geçişini de engellemekte, böylece periapikal inflamasyonun iyileşmesine katkı sağlamaktadır (Foreman ve Barnes, 1990; Siqueira Jr ve Lopes, 1999). Bazı çalışmalar ağrı kontrolünde CHX ve Ca(OH)_2 kombinasyonunun üstün etkinliğini göstermiştir (Hendy, Ahmed, Sadek ve Khatab, 2024). Büyük periapikal lezyonlu dişlerin tedavisinde, Ca(OH)_2 'in kullanımıyla başarılı sonuçlar elde edilmiş ve bu uygulama ile dişlerin tedavisinde cerrahi gereksiniminin azaldığı rapor edilmiştir (Weiger, Rosendahl ve Löst, 2000).

Bhalla ve Chockattu'un yaptığı bir çalışmada; radyografik apeksin 1 mm yakınına kadar yerleştirilen Ca(OH)_2 'in, kök dış yüzeyinde maksimum pH değişikliğine sebep olarak; radyografik apekten 3 mm ve 5 mm uzakta yerleştirilen Ca(OH)_2 'e göre daha başarılı olduğu sonucunu göstermektedir (Bhalla ve Chockattu, 2021).

Bu olumlu özellikleri sayesinde Ca(OH)_2 , endodontide; direkt ve indirekt kuafajda, kanal tedavi seansları arasında medikament olarak ve apeksi açık genç daimi dişlerde apeksifikasyon tedavilerinde kullanılmaktadır (Padilla ve diğerleri, 2024).

Üçlü Antibiyotik Patı

Endodontide üçlü antibiyotik patı (Triple Antibiotic Paste-TAP), rutin kök kanal tedavilerinde ve rejeneratif endodontik tedavide kanal içi dezenfeksiyon sağlamak için kullanılan önemli bir kanal içi medikamenttir. TAP klasik olarak siprofloksasin,

metronidazol ve minosiklin antibiyotiklerinin karışımıdır. Polimikrobiyal endodontik enfeksiyonları hedef alır (Parhizkar, Nojehdehian ve Asgary, 2018a)

Medikament olarak TAP kullanımının temel amacı, mekanik preparasyon ile erişilemeyen derin dentin tübülleri ve biyofilm varlığında mikroorganizmaları elimine etmektir (Parhizkar, Nojehdehian ve Asgary, 2018). Özellikle biyofilm yapıları ile ilişkili patojenlerin yok edilmesinde etkili olan üçlü antibiyotik kombinasyonu, hem gram negatif hem gram pozitif mikroorganizmalar üzerine geniş spektrumlu etki gösterme özelliğine sahiptir (Lillygrace ve diğerleri, 2021).

Endodontik enfeksiyonlarda, post-operatif ağrı üzerinde $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve TAP'ın karşılaştırıldığı bir çalışmada TAP medikasyon sonrası daha az post-operatif ağrıya sebep olmuştur (Vella, 2025). $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile karşılaştırıldığında TAP'ın daha etkin antibiyofilm aktivitesine sahip olduğu belirtilmektedir (da Silva Magalhães ve diğerleri, 2023). TAP kanal dezenfeksiyonu dışında immatür nekrotik dişlerde uygulanan rejeneratif endodontik tedavi vakalarında da yaygın olarak tercih edilmektedir (Mohammadi ve diğerleri, 2018). TAP kullanılarak yapılan rejeneratif endodontik tedavi sonuçlarının klinik ve radyografik takibinde, semptomların gerilediği, periapikal iyileşmenin sağlandığı ve kök gelişiminin devam ettiği bildirilmiştir (do Couto ve diğerleri, 2019).

Polimikrobiyal enfeksiyonlarda etkinlik sağlaması, rejeneratif endodontik tedavilerde başarı göstermesi, biyofilm inhibisyonunda etkili olması gibi avantajlarının yanı sıra, literatürde TAP ile ilgili bazı dezavantajlar da bildirilmiştir (Palipana, Kalubowila ve Gamage, 2023). İçeriğindeki minosiklin bileşeni nedeniyle özellikle anterior bölgedeki dişlerde renklenmeye bağlı estetik sorunlara yol açtığı bilinmektedir (Montero-Miralles ve diğerleri, 2018). Diğer antibiyotiklerde olduğu gibi uzun süreli veya uygunsuz kullanıma bağlı olarak bakteriyel direnç gelişme riski söz

konusudur (Parhizkar, Nojehdehian ve Asgary, 2018). Ayrıca yüksek TAP konsantrasyonlarının rejeneratif endodontik tedavinin önemli bir bileşeni olan kök hücreler üzerindeki toksik etkisi literatürde araştırma konusu olmuştur (Palipana ve diğerleri, 2023)(Ünverdi Eldeniz ve Öztürk, 2004). TAP'ın kök kanal sisteminden tamamen temizlenememesi, kanal dolum materyallerinin adaptasyonunu ve bağlantısını etkilemesi bir diğer dezavantaj olarak sayılabilir (Sarıcam ve diğerleri, 2022).

Mevcut literatürde, TAP'ın olumlu farmakolojik etkilerini korurken yan etkilerini azaltmaya yönelik modifikasyonlar üzerinde çalışmalar sürmektedir (Palipana ve diğerleri, 2023). Bu kapsamda minosiklin içermeyen ikili antibiyotik patlar, nanopartikül bazlı antibakteriyel ajanlar ve hidrojel gibi yeni nesil kanal içi medikamentler incelenmektedir. Bu çalışmalarla özellikle TAP'ın bakteriyel direnç riski ve dentin renklenmesi azaltılmaya çalışılmaktadır (Barve ve diğerleri, 2025).

Sonuç olarak, TAP endodontide özellikle rejeneratif tedavilerde ve inatçı kanal içi enfeksiyonlarda etkin bir dezenfektan olarak kabul edilmekle birlikte, kullanımı sırasında estetik problemler, antibiyotik direncinin artması gibi konuların dikkatle değerlendirilmesi gerekmektedir. Yeni çalışmalarda TAP alternatifi medikament ve kombinasyonların etkinlik ve güvenliliği üzerine odaklanmaktadır.

Endodontik tedavide TAP'ın içeriğindeki minosiklin kaynaklı çeşitli dezavantajları elimine etmek amacıyla ikili antibiyotik patı (Duble Antibiotic Paste-DAP) geliştirilmiştir. DAP, metronidazol ve siprofloksasin içerir. TAP'ta bulunan minosiklin, pat içeriğinden çıkarılarak diş renklenmesi gibi yan etkilerin önüne geçilmesi hedeflenmiştir (Madhukumar, Geetha, Nair ve Unnikrishnan, 2021).

İkili Antibiyotik Pati

DAP'ın ikili antibakteriyel içeriği ile geniş spektrumlu antibakteriyel bir etki sağlar. İçeriğindeki metronidazol anaeroblara karşı güçlü aktivite gösterirken, siprofloksasin gram negatif bakterilere karşı etkilidir. Laboratuvar çalışmalarında DAP, biyofilm oluşturan mikroorganizmaların azaltılmasında etkili bulunmuştur. İn vitro karşılaştırmalarda DAP, *E. faecalis* gibi dirençli bakteri türlerinde antibakteriyel aktivite gösterdiği rapor edilmiştir (Valverde ve diğerleri, 2017). DAP minosiklin içermediği için estetik problemlere sebep olmaz ancak üçlü antibiyotik patında olduğu gibi DAP da rutin kök kanal temizliği ve irrigasyonu ile kanal duvarlarından uzaklaştırılması zor bir medikamenttir. Çalışmalar irrigasyon aktivasyon yöntemlerinin DAP kalıntılarının tamamen eliminasyonunda yetersiz kaldığını göstermektedir (Osman, 2017).

DAP aynı zamanda enfekte süt dişlerinde lezyon sterilizasyonu ve doku onarımı (Lesion Sterilization and Tissue Repair, LSTR) tedavisi uygulanırken kullanılmaktadır. Yakın tarihli randomize kontrollü klinik çalışmada DAP ile yapılan lezyon sterilizasyonu ve doku onarımı tedavisi ile klasik pulpektomi karşılaştırılmış ve 12 aylık takipte klinik başarı DAP grubunda 67% olarak bulunmuştur. Ancak pulpektomi grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı fark olmadığı belirtilmiştir. Her iki grubun da radyografik başarı oranları benzer şekilde düşük tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, DAP'ın iyi bir klinik sonuç sağlayabildiğini, fakat radyografik iyileşmede sınırlı etkinlik gösterebileceğini ve DAP ile yapılan LSTR tedavisinin kötü prognozlu süt dişlerinde 1 yıla kadar uygulanabilecek bir alternatif tedavi olduğu bildirilmiştir (Sharma ve diğerleri, 2025).

Rejeneratif endodontik tedavide Ca(OH)_2 medikasyonu ile DAP'ın periapikal radyografik sonuçlar ve inflamasyon belirteçleri üzerindeki etkilerinin değerlendirildiği randomize klinik bir çalışmada kök genişliğinde artış her iki grupta benzer bulunurken,

kök uzunluğundaki artış Ca(OH)_2 grubunda anlamlı derecede yüksek bulunmuştur (Pekpınarlı ve diğerleri, 2024).

Rejeneratif endodontide DAP kullanımının, kök kanalındaki bakteri yükünü azaltırken apikal papilla kök hücrelerinin canlılığı üzerinde TAP'a kıyasla daha az sitotoksik etki gösterebileceğini bildirilmiş ve bu nedenle DAP, özellikle estetik bölgelerde ve kök gelişimi devam eden immatür dişlerin rejeneratif tedavilerinde tercih edilen kanal içi medikamentlerden biri haline gelmiştir (Ruparel, Teixeira, Ferraz ve Diogenes, 2012).

Güncel literatür, DAP'ın endodontide özellikle pulpal enfeksiyonların kontrolünde ve rejeneratif tedavilerde antibakteriyel etkisinin etkili bir seçenek olabileceğini desteklemektedir (Tagelsir, Yassen, Gomez ve Gregory, 2016). Bununla birlikte radyografik iyileşme oranları değişiklik gösterse de kanal içerisindeki kalıntıların uzaklaştırılması için optimum irrigasyon teknikleri gerekmektedir. Ayrıca minosiklin içermemesi nedeniyle estetik kaygıların azaltılması, DAP'ı iyi bir alternatif haline getirmektedir (Sharma ve diğerleri, 2025).

Klorheksidin

CHX, endodontide geniş spektrumlu antimikrobiyal etkisi nedeniyle uzun yıllardır irrigasyon solüsyonu ve kanal içi medikament olarak kullanılan bir ajandır. Jel formundaki CHX uzun süre kontrollü salınımı ile etki gösterir (C. C. Ferraz, Gomes, Zaia, Teixeira ve Souza-Filho, 2001). CHX jel genellikle %0,2 ile %2 konsantrasyonlarında kullanılmakta ve gram-pozitif bakterilere, gram-negatif bakterilere, mantarlara ve bazı virüs çeşitlerine karşı etkili olduğu bildirilmiştir (Gomes ve diğerleri, 2013).

CHX jel, hücre membranına etki ederek bakteri hücresinin lizisine neden olur. Dentin yüzeylerine bağlanarak uzun süreli

antibakteriyel etki gösterir, bu etki substantivite özelliği olarak isimlendirilir. Bu etki sayesinde CHX jel, kök kanal sisteminde *E. faecalis* gibi dirençli mikroorganizmaların eliminasyonunda etkili bulunmuştur (Bhandari, T S ve Patil, 2014). Hem CHX çözeltisi hem de jel formunun, dentin yüzeyinde 90 güne kadar kalıcı antimikrobiyal ajan salınımının olduğu gösterilmiştir. Bu bulgu CHX jel kullanımının sadece kısa dönem etkisi değil, kanal içi ortamda daha uzun süreli bakteriyostatik etki sağlayabileceğini göstermektedir (Souza ve diğerleri, 2012).

Endodontik tedavilerde CHX jel kök kanal sistemi dezenfeksiyonunda, enstrümantasyon sırasında mikroorganizmaların azaltılmasında ve bazı klinik protokollerde kanal içi medikament olarak kullanılmaktadır (Wang, Arnold, Trope ve Teixeira, 2007).

CHX jel ve çözeltisinin antimikrobiyal etkinliğinin NaOCl ile karşılaştırıldığı bazı çalışmalarda benzer etki gösterdiği bildirilse de farklı konsantrasyon ve mikroorganizma türlerine bağlı olarak sonuçlar değişebilmektedir (C. C. R. Ferraz, Gomes, Zaia, Teixeira ve Souza-Filho, 2007).

Klinik çalışmalar; 2% CHX jel uygulamasının kanal içi bakteriyel yükü azaltmak için etkili bir yöntem olduğunu ortaya koymuştur. 43 hastanın dahil edildiği bir klinik çalışmada, enstrümantasyon sırasında kullanılan 2% CHX jel uygulaması sonrası bakteriyel pozitif kültür oranında anlamlı azalma saptanmıştır (Tagelsir ve diğerleri, 2016; Wang ve diğerleri, 2007).

CHX jel güçlü antimikrobiyal özellik gösterse de NaOCl gibi organik doku çözme yeteneğine sahip olmaması nedeniyle organik artıkların uzaklaştırılması konusunda yeterli olmayabilir (Hanh ve diğerleri, 2025). Endotoksin eliminasyonu gibi bazı protokollerde sınırlı etkiye sahip olabilir (Martinho, Gomes, Nascimento, Gomes ve Leite, 2018). Uygulama sonrası dentin ve kanal yüzeylerinde renk

değişimi meydana gelebilir veya çökelti oluşumu gözlenebilir. Bu bulgular CHX antimikrobiyal etkinliğini doğrudan etkilememektedir (Adıgüzel, 2015).

Sonuç olarak; CHX jel endodontide kullanılan etkin bir antimikrobiyal ajandır ve kök kanalındaki bakteriyel yükü azaltmada etkili bir ajandır ve dentin yüzeyinde uzun süre kalıcı etki sağlayabilir.

Kortikosteroid–Antibiyotik Kombinasyonları

Endodontik tedavi öncesi ağrı semptomu olan hastaların yaklaşık %80'inde tedavi sonrasında da ağrı şikayeti devam etmektedir. Çoğunlukla kronik inflamasyonla bağlantılı olan bu ağrı, vücut savunma hücrelerini tetikleyen ve ardından çeşitli sitokinlerin ve enflamatuar medyatörlerin uyarılmasına yol açan bakteriyel toksinlerden kaynaklanmaktadır. Postoperatif ağrı sorunlarını çözmek için çeşitli ilaçlar ile kanal içi medikamentler geliştirilmiştir (Kar, Varghese, Agrawal ve Jhaveri, 2021).

Antibiyotik-kortikosteroid kombinasyonlarından biri olan Ledermix patı oldukça yaygın olarak kullanılmıştır. İçeriğinde %1 oranında kortikosteroid (triamcinolon asetonid) ve antibiyotik (demeclocycline) bulunmaktadır. Kortikosteroid içeriği ile periapikal dokulardaki inflamatuvar yanıtı baskılayarak ağrının hızlı şekilde azalmasını sağlarken, antibiyotik içeriği ile bakteriyel yükün kontrol altına alınmasına katkıda bulunur. Sertleşmeyen, suda çözünen yapıda olan Ledermix patı, direk pulpa kaplamasında ve kök kanal tedavisi seansları arasında medikament olarak kullanım alanı bulmuştur (Kumar, Tamanna ve Iftekhar, 2019; Kundabala, Jagadish ve Ramya, 2014).

Bazı çalışmalar, triamsinolonun kök kanalında Ledermix patından salınarak lateral kanallar, apikal foramen ve dentin tübüllerinden difüzyon yoluyla sistemik dolaşıma ulaşabildiğini göstermiştir. Antibakteriyel etkinliğinin sınırlı olması, olası diş

renklenmesi ve sistemik yan etkileri nedeniyle uzun süreli kullanımı önerilmemektedir (Klotz, Gerstein ve Bahn, 1965; Kumar ve diğerleri, 2019) .

Endodontik Tedavide Prognoz

Lezyonlu dişler incelendiğinde, kanal tedavi öncesi ilgili dişte apikal lezyon varlığının, prognozu negatif yönde etkilediği ve endodontik tedavinin başarısında azalmaya sebep olabileceği düşünülmektedir (Chugal, Clive ve Spångberg, 2001). Endodontik tedavide başarısızlık, çeşitli şekillerde klinik belirti gösterebilir. Perküsyon ve palpasyonda ağrı, tekrarlayan apse ve fistül varlığı gibi çeşitli semptomların tekrarlama ile mevcut periapikal radyolusensinin artışı örnek olarak verilebilir (Ashley ve Harris, 2001). Endodontik tedavi başarısının araştırıldığı çeşitli çalışmalarda, 4 yıllık takip sonrası tedavinin %95'lik başarı oranına ulaşabildiği bildirilmiş, böylece kök kanal tedavisinin oldukça başarılı bir uygulama olduğu gösterilmiştir (de Cheigny ve diğerleri, 2008; Ng, Mann ve Gulabivala, 2011). Tedavi sonrası fonksiyon kaybı olmaması, klinik semptomların ortadan kalkması ve radyografik incelemede sağlıklı dokuların varlığı tedavide başarılı olduğunu desteklemektedir (Endodontology, 2006).

Kanal tedavi sonrasında farklı mikrobiyal faktörler, kök içi ve kök dışı enfeksiyonlar başarısızlığa sebep olabilir (Chen, Chueh, Hsiao, Wu ve Chiang, 2008). Torabinejad ve ark.ları sistematik bir incelemelerinde endodontik tedavinin %14-16 oranında başarısız olabileceğini bildirmişlerdir (Torabinejad ve diğerleri, 2007). Hekim hatasıyla meydana gelen perforasyonlar, gözden kaçan kök kanalları, eğimli kanallarda çalışma boyuna ulaşılabilmesi, inatçı enfeksiyonlar, anatomik farklılıklara sahip kanallar ve yeterli irrigasyon ve dezenfeksiyonun yapılmaması da kök kanal tedavisinin başarısız olmasına sebep olabilmektedir (Tiwari ve Govind, 2024). Endodontik tedavili dişlerin sadece radyografik

olarak değerlendirilmesi hatalı bir yaklaşımdır. Özensiz çalışma ile kanal tedavisinin izolasyona dikkat edilmeksizin yapılması, yeterli şekillendirme ve temizleme yapılmaması durumunda radyografik olarak başarılı bir kök kanal dolgusu gibi görülse de hastada klinik ve radyografik semptomların varlığı kanal tedavisinin başarısız olduğunu kanıtlar (Karamifar, Tondari ve Saghiri, 2020; Nair, 2006). Kanal dolumunun yetersizliğine bağlı olarak, doku sıvıları kök kanalı içerisinde ilerlediğinde, bakterilerin yaşaması ve çoğalması için gerekli gıda desteği görevi görür. Bu durumda kanal tedavi başarısızlıklarının altında yatan bakteriyel sebep hastalık yapan bakterilerin çoğalarak yeterli seviyeye ulaştığında enflamatuvar durumu başlatmasıdır (Molander, Reit, Dahlén ve Kvist, 1998).

Kök kanal tedavisinin rubber-dam izolasyonu altında yapılması, kök kanal girişi bariyer materyali yerleştirilmesi, restorasyonlarda mikrosızıntının engellenmesi, tedavi başarısını arttıran faktörlerdendir (Gillen ve diğerleri, 2011). Üst yapıya bağlı sorunlar, dolgu ve kron yapılamayacak miktarda madde kaybı ve dikey kök kırıkları endodontik tedavili dişlerin çekimine yol açan nedenlerin başında gelir (Olçay, Ataoglu ve Belli, 2018; Touré ve diğerleri, 2011). Bir çalışmada periodontitisli hastalarda endodontik tedavi yapılmış dişlerde apikal lezyon gelişiminin sağlıklı periodontal dokulara sahip endodontik tedavili dişlerden beş kat fazla olduğu bildirilmiştir. Bu durum pulpa-periodonsiyum arasındaki bağlantı yollarından olan dentin tübülleriindeki geçirgenliğin artışına bağlanmıştır (Ruiz ve diğerleri, 2017). Prematür kontaklara bağlı gelişen oklüzal travma nedeniyle yeni apikal lezyonlar oluşabilir veya tedavi öncesi var olan lezyonların iyileşmeme ihtimalini arttırmaktadır. Bu olumsuz prognoz; artmış marjinal sızıntı ihtimali, periapikal dokuda enflamasyon ve simante edilmiş kron restorasyonunun tutuculuğunun azalması gibi sebeplerle meydana gelebilir (Iqbal ve diğerleri, 2003).

Kök kanal tedavisi ideal koşullarda uygulandığında, radyografta mevcut olan apikal yıkım, rejenerasyon ile tamir edilebilmektedir. Bu iyileşme radyografik olarak takip edilebilir (Nair, 2006). Apikal lezyonlu dişlerde kök kanal tedavisinden sonra lezyonların altı ay ile iki yıl içinde tamamen kaybolması, tedavinin başarılı olduğunu göstermektedir. Bu süre zarfında var olan apikal lezyonun iyileşmemesi, lezyon çapında artış veya tedavi öncesi mevcut olmayan lezyonun meydana gelmesi gibi durumlarda kök kanallarının yeniden endodontik tedavisi ve apikal cerrahi gibi ek tedavi prosedürleri gerekir (Siqueira, Rôças, Ricucci ve Hülsmann, 2014).

Sonuç olarak, kök kanal tedavisinin prognozu birden fazla faktöre bağlıdır. Kanal içi medikamentlerin doğru endikasyon ve doğru klinik protokollerle kullanımı, mikrobiyal yükün azaltılması ve periradiküler iyileşmeye katkıda bulunarak kök kanal tedavisi prognozunu olumlu şekilde etkileyebileceği sonucuna varılabilir.

Kaynakça

Adigüzel, Ö. (2015). Klorheksidin. Türkiye Klinikleri Endodontics—Special Topics, 1(2), 15-19.

Ashley, M. ve Harris, I. (2001). The Assessment of the Endodontically Treated Tooth. Dental Update, 28(5), 247-252. doi:10.12968/denu.2001.28.5.247

Barve, A., Lakade, L., Shah, P., Chaudhary, S., Jajoo, S. ve Joshi, G. (2025). Antibiotic Paste as an Intracanal Medicament in Infected Primary Teeth: A Systematic Review. Cureus, 17(4), e82876. doi:10.7759/cureus.82876

Bhalla, V. K. ve Chockattu, S. J. (2021). Intracanal delivery of calcium hydroxide: A literature review. Saudi Endodontic Journal, 11(1), 1. doi:10.4103/sej.sej_11_20

Bhandari, S., T S, A. ve Patil, C. R. (2014). An in Vitro Evaluation of Antimicrobial Efficacy of 2% Chlorhexidine Gel, Propolis and Calcium Hydroxide Against Enterococcus faecalis in Human Root Dentin. Journal of clinical and diagnostic research: JCDR, 8(11), ZC60-63. doi:10.7860/JCDR/2014/10359.5144

Cehreli, Z. C., Isbitiren, B., Sara, S. ve Erbas, G. (2011). Regenerative endodontic treatment (revascularization) of immature necrotic molars medicated with calcium hydroxide: A case series. *Journal of Endodontics*, 37(9), 1327-1330. doi:10.1016/j.joen.2011.05.033

Chen, S.-C., Chueh, L.-H., Hsiao, C. K., Wu, H.-P. ve Chiang, C.-P. (2008). First Untoward Events and Reasons for Tooth Extraction after Nonsurgical Endodontic Treatment in Taiwan. *Journal of Endodontics*, 34(6), 671-674. doi:10.1016/j.joen.2008.03.016

Chong, B. S. ve Ford, T. R. P. (1992). The role of intracanal medication in root canal treatment. *International Endodontic Journal*, 25(2), 97-106. doi:10.1111/j.1365-2591.1992.tb00743.x

Chong, Bun San. (2016). *Harty's Endodontics in Clinical Practice E-Book: Harty's Endodontics in Clinical Practice E-Book*. Elsevier Health Sciences.

Chugal, N. M., Clive, J. M. ve Spångberg, L. S. W. (2001). A prognostic model for assessment of the outcome of endodontic treatment: Effect of biologic and diagnostic variables. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 91(3), 342-352. doi:10.1067/moe.2001.113106

da Silva Magalhães, K., Kuerten Gil, A. C., Goulart, T. S., Schuldt, D. P. V., Coelho, B. S., Figueiredo, D. de R., ... de Almeida, J. (2023). Efficacy of disinfection procedures performed prior to regenerative endodontic therapy: An integrative review. *Australian Endodontic Journal: The Journal of the Australian Society of Endodontology Inc*, 49(2), 418-427. doi:10.1111/aej.12670

de Chevigny, C., Dao, T. T., Basrani, B. R., Marquis, V., Farzaneh, M., Abitbol, S. ve Friedman, S. (2008). Treatment Outcome in Endodontics: The Toronto Study—Phase 4: Initial Treatment. *Journal of Endodontics*, 34(3), 258-263. doi:10.1016/j.joen.2007.10.017

do Couto, A. M., Espaladori, M. C., Leite, A. P. P., Martins, C. C., de Aguiar, M. C. F. ve Abreu, L. G. (2019). A Systematic Review of Pulp Revascularization Using a Triple Antibiotic Paste. *Pediatric Dentistry*, 41(5), 341-353.

Endodontology, E. S. of. (2006). Quality guidelines for endodontic treatment: Consensus report of the European Society of Endodontology. *International Endodontic Journal*, 39(12), 921-930. doi:10.1111/j.1365-2591.2006.01180.x

Estrela, C., Sydney, G. B., Pesce, H. F. ve Felipe Júnior, O. (1995). Dentinal diffusion of hydroxyl ions of various calcium hydroxide pastes. *Brazilian Dental Journal*, 6(1), 5-9.

European Society of Endodontology. (2006). Quality guidelines for endodontic treatment: Consensus report of the European Society of Endodontology. *International Endodontic Journal*, 921-992.

Ferraz, C. C., Gomes, B. P., Zaia, A. A., Teixeira, F. B. ve Souza-Filho, F. J. (2001). In vitro assessment of the antimicrobial action and the mechanical ability of chlorhexidine gel as an endodontic irrigant. *Journal of Endodontics*, 27(7), 452-455. doi:10.1097/00004770-200107000-00004

Ferraz, C. C. R., Gomes, B. P. F. A., Zaia, A. A., Teixeira, F. B. ve Souza-Filho, F. J. (2007). Comparative study of the antimicrobial efficacy of chlorhexidine gel, chlorhexidine solution and sodium hypochlorite as endodontic irrigants. *Brazilian Dental Journal*, 18(4), 294-298. doi:10.1590/s0103-64402007000400004

Foreman, P. C. ve Barnes, I. E. (1990). A review of calcium hydroxide. *International Endodontic Journal*, 23(6), 283-297. doi:10.1111/j.1365-2591.1990.tb00108.x

Gillen, B. M., Looney, S. W., Gu, L.-S., Loushine, B. A., Weller, R. N., Loushine, R. J., ... Tay, F. R. (2011). Impact of the Quality of Coronal Restoration versus the Quality of Root Canal Fillings on Success of Root Canal Treatment: A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Endodontics*, 37(7), 895-902. doi:10.1016/j.joen.2011.04.002

Gomes, B. P. F. A., Vianna, M. E., Zaia, A. A., Almeida, J. F. A., Souza-Filho, F. J. ve Ferraz, C. C. R. (2013). Chlorhexidine in endodontics. *Brazilian Dental Journal*, 24(2), 89-102. doi:10.1590/0103-6440201302188

Hanh, T. T. M., Hieu, N. D., Ngoc, V. T. N., Anh, L. K., Thao, T. P., Hau, D. N. M. ve Nga, D. T. H. (2025). Chlorhexidine Gluconate in Pediatric Endodontic Treatment: A Scoping Review. *Cureus*, 17(3), e80445. doi:10.7759/cureus.80445

Hendy, Y. M., Ahmed, G. M., Sadek, H. S. ve Khatab, R. A. M. (2024). Effect of Combination of Calcium Hydroxide and 2% Chlorhexidine Gel as Intracanal Medications in Comparison to Calcium Hydroxide Paste on Postoperative Pain and Bacterial Endotoxins in Necrotic Teeth: Randomized Clinical Trial. *Ain Shams Dental Journal*, 33(1), 127-134. doi:10.21608/asdj.2023.224094.1181

Iqbal, M. K., Johansson, A. A., Dr, O., Akeel, R. F., Bergenholtz, A., Dr, O. ve Omar, R. (2003). A Retrospective Analysis of Factors Associated with the Periapical Status of Restored, Endodontically Treated Teeth.

Kar, P., Varghese, R., Agrawal, N. ve Jhaveri, H. (2021). Steroid as an Intracanal Medicament: An Advanced Review. *Journal of Research in Dental and Maxillofacial Sciences*, 6(3), 47-51. doi:10.52547/jrdms.6.3.47

Karamifar, K., Tondari, A. ve Saghiri, M. A. (2020). Endodontic Periapical Lesion: An Overview on the Etiology, Diagnosis and Current Treatment Modalities. *European Endodontic Journal*, 5(2), 54-67. doi:10.14744/eej.2020.42714

Kim, D. ve Kim, E. (2014). Antimicrobial effect of calcium hydroxide as an intracanal medicament in root canal treatment: A literature review - Part I. In vitro studies. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 39(4), 241-252. doi:10.5395/rde.2014.39.4.241

Klotz, M. D., Gerstein, H. ve Bahn, A. N. (1965). Bacteremia after topical use of prednisolone in infected pulps. *Journal of the*

American Dental Association (1939), 71(4), 871-875.
doi:10.14219/jada.archive.1965.0079

Kumar, A., Tamanna, S. ve Iftekhar, H. (2019). Intracanal medicaments – Their use in modern endodontics: A narrative review. *Journal of Oral Research and Review*, 11(2), 94.
doi:10.4103/jorr.jorr_3_19

Kundabala, M., Jagadish, S. ve Ramya, S. (2014). Efficacy of Ledermix as a root canal medicament in symptomatic teeth: A clinical study. *Journal of Interdisciplinary Dentistry*, 4(2), 85.
doi:10.4103/2229-5194.142944

Lillygrace, E., Kethineni, B., Puppala, R., Raichurkar, H. K., Ambati, S. ve Saikiran, K. V. (2021). Antimicrobial Efficacy of Triple Antibiotic Paste and Propolis as an Intracanal Medicament in Young Permanent Teeth: An In Vivo Study. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 14(2), 243-248. doi:10.5005/jp-journals-10005-1944

Madhukumar, M., Geetha, P., Nair, K. R. ve Unnikrishnan, M. (2021). The Effects of Double Antibiotic Paste and Amoxicillin-clavulanate Paste Used in Endodontic Regeneration on Microhardness of Radicular Dentine: An In vitro Study. *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences*, 13(Suppl 1), S510-S515.
doi:10.4103/jpbs.JPBS_531_20

Martinho, F. C., Gomes, C. C., Nascimento, G. G., Gomes, A. P. M. ve Leite, F. R. M. (2018). Clinical comparison of the effectiveness of 7- and 14-day intracanal medications in root canal disinfection and inflammatory cytokines. *Clinical Oral Investigations*, 22(1), 523-530. doi:10.1007/s00784-017-2143-x

Mohammadi, Z., Shalavi, S. ve Yazdizadeh, M. (2012). Antimicrobial Activity of Calcium Hydroxide in Endodontics: A

Review. Chonnam Medical Journal, 48(3), 133-140.
doi:10.4068/cmj.2012.48.3.133

Mohammadi, Z., Jafarzadeh, H., Shalavi, S., Yaripour, S., Sharifi, F. ve Kinoshita, J.-I. (2018). A Review on Triple Antibiotic Paste as a Suitable Material Used in Regenerative Endodontics. *Iranian Endodontic Journal*, 13(1), 1-6.
doi:10.22037/iej.v13i1.17941

Molander, A., Reit, C., Dahlén, G. ve Kvist, T. (1998). Microbiological status of root-filled teeth with apical periodontitis. *International Endodontic Journal*, 31(1), 1-7. doi:10.1046/j.1365-2591.1998.t01-1-00111.x

Montero-Miralles, P., Martín-González, J., Alonso-Ezpeleta, O., Jiménez-Sánchez, M. C., Velasco-Ortega, E. ve Segura-Egea, J. J. (2018). Effectiveness and clinical implications of the use of topical antibiotics in regenerative endodontic procedures: A review. *International Endodontic Journal*, 51(9), 981-988.
doi:10.1111/iej.12913

Nair, P. N. R. (2006). On the causes of persistent apical periodontitis: A review. *International Endodontic Journal*, 39(4), 249-281. doi:10.1111/j.1365-2591.2006.01099.x

Ng, Y.-L., Mann, V. ve Gulabivala, K. (2011). A prospective study of the factors affecting outcomes of non-surgical root canal treatment: Part 2: tooth survival. *International Endodontic Journal*, 44(7), 610-625. doi:10.1111/j.1365-2591.2011.01873.x

Olçay, K., Ataoglu, H. ve Belli, S. (2018). Evaluation of Related Factors in the Failure of Endodontically Treated Teeth: A Cross-sectional Study. *Journal of Endodontics*, 44(1), 38-45.
doi:10.1016/j.joen.2017.08.029

Osman, D. (2017). Farklı İrrigasyon Tekniklerinin İkili Antibiyotik Patını Kök Kanalıdan Uzaklaştırmadaki Etkisi. 19

<https://search.trdizin.gov.tr/en/yayin/detay/284243/farkli-irrigasyon-tekniklerinin-ikili-antibiyotik-patini-kok-kanalindan-uzaklastirmadaki-etkisi> adresinden erişildi.

Padilla, M. B. M., Martínez, V. A. V. ve Moya, C. A. V. (2024). Interpretation by literature review of the use of calcium hydroxide as an intra-ductal medication. *Salud, Ciencia y Tecnología*, 4, 924-924. doi:10.56294/saludcyt2024924

Palipana, P. D., Kalubowila, S. ve Gamage, I. P. (2023). Triple Antibiotic Paste and Alternative Medicaments in Endodontics: A Literature Review, 6(3).

Paltun, Y. ve Tınaz, A. C. (2021). Kalsiyum Hidroksitin Kök Kanallarında Dezenfektan Olarak Kullanılması.

Parhizkar, A., Nojehdehian, H. ve Asgary, S. (2018). Triple antibiotic paste: Momentous roles and applications in endodontics: a review. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 43(3), e28. doi:10.5395/rde.2018.43.e28

Pekpinarli, B., Kaval, M. E., Cogulu, D., Ilhan, B., Sorsa, T., Tervahartiala, T. ve Oncag, O. (2024). The effect of calcium hydroxide and double antibiotic paste on radiographic outcomes and periapical MMP-8 levels in regenerative endodontic procedures: A randomized clinical trial. *Journal of applied oral science: Revista FOB*, 32, e20240122. doi:10.1590/1678-7757-2024-0122

Ruiz, X.-F., Duran-Sindreu, F., Shemesh, H., García Font, M., Vallés, M., Roig Cayón, M. ve Olivieri, J. G. (2017). Development of Periapical Lesions in Endodontically Treated Teeth with and without Periodontal Involvement: A Retrospective Cohort Study. *Journal of Endodontics*, 43(8), 1246-1249. doi:10.1016/j.joen.2017.03.037

Ruparel, N. B., Teixeira, F. B., Ferraz, C. C. R. ve Diogenes, A. (2012). Direct effect of intracanal medicaments on survival of stem cells of the apical papilla. *Journal of Endodontics*, 38(10), 1372-1375. doi:10.1016/j.joen.2012.06.018

Sarıcam, E., Ince Yusufoglu, S., Kucuk, M., Geneci, F., Ocak, M. ve Celik, H. H. (2022). Micro-computed tomography assessment of triple antibiotic paste removal using different irrigation methods. *European Oral Research*, 56(1), 49-54. doi:10.26650/eor.2022200002

Schilder, H. (1974). Cleaning and Shaping the Root Canal. *Dental Clinics of North America*, 18(2), 269-296. doi:10.1016/S0011-8532(22)00677-2

Sharifi, R., Bahrampour, E., Janfroozzade, P., Safaei, M., Mozaffari, H. R., Soltanimehr, E., ... Golshah, A. (2019). Comparative evaluation of the efficacy of three methods of delivering calcium hydroxide into the root canal. *Dental and Medical Problems*, 56(2), 155-159. doi:10.17219/dmp/103732

Sharma, U., Gill, N. C., Passi, S., Verma, L., Agnihotri, A., Arora, R., ... Kaur, I. P. (2025). A Prospective, Blinded Randomized, Active-controlled Clinical Trial to Evaluate the Success of Double Antibiotic Paste in Pulpally Infected Primary Molars. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 18(6), 653-659. doi:10.5005/jp-journals-10005-3141

Siqueira, J. F., Rôças, I. N., Ricucci, D. ve Hülsmann, M. (2014). Causes and management of post-treatment apical periodontitis. *British Dental Journal*, 216(6), 305-312. doi:10.1038/sj.bdj.2014.200

Siqueira Jr, J. F. ve Lopes, H. P. (1999). Mechanisms of antimicrobial activity of calcium hydroxide: A critical review.

International Endodontic Journal, 32(5), 361-369.
doi:10.1046/j.1365-2591.1999.00275.x

Siqueira, J. F. ve de Uzeda, M. (1998). Influence of different vehicles on the antibacterial effects of calcium hydroxide. *Journal of Endodontics*, 24(10), 663-665. doi:10.1016/S0099-2399(98)80151-9

Souza, M., Cecchin, D., Farina, A. P., Leite, C. E., Cruz, F. F., Pereira, C. da C., ... Figueiredo, J. A. P. (2012). Evaluation of chlorhexidine substantivity on human dentin: A chemical analysis. *Journal of Endodontics*, 38(9), 1249-1252. doi:10.1016/j.joen.2012.06.003

Tagelsir, A., Yassen, G. H., Gomez, G. F. ve Gregory, R. L. (2016). Effect of Antimicrobials Used in Regenerative Endodontic Procedures on 3-week-old *Enterococcus faecalis* Biofilm. *Journal of Endodontics*, 42(2), 258-262. doi:10.1016/j.joen.2015.09.023

Tiwari, I. ve Govind, S. (2024). Root Canal Treatment Failure: A Brief Review |. *Journal of Biomedical and Pharmaceutical Research*. doi:https://doi.org/10.32553/jbpr.v13i5.1170

Torabinejad, M., Anderson, P., Bader, J., Brown, L. J., Chen, L. H., Goodacre, C. J., ... White, S. N. (2007). Outcomes of root canal treatment and restoration, implant-supported single crowns, fixed partial dentures, and extraction without replacement: A systematic review. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 98(4), 285-311. doi:10.1016/S0022-3913(07)60102-4

Touré, B., Faye, B., Kane, A. W., Lo, C. M., Niang, B. ve Boucher, Y. (2011). Analysis of Reasons for Extraction of Endodontically Treated Teeth: A Prospective Study. *Journal of Endodontics*, 37(11), 1512-1515. doi:10.1016/j.joen.2011.07.002

Tronstad, L., Andreasen, J. O., Hasselgren, G., Kristerson, L. ve Riis, I. (1981). pH changes in dental tissues after root canal filling with calcium hydroxide. *Journal of Endodontics*, 7(1), 17-21. doi:10.1016/S0099-2399(81)80262-2

Ünverdi Eldeniz, A. ve Öztürk, A. (2004). Güncel kanal içi ilaçların ve yeni hidrojellerin rejeneratif endodontide kullanımı sonrasında *E. faecalis* biyofilmini uzaklaştırma etkinliği ve kök hücreler üzerindeki sitotoksik ve alkalin fosfataz aktivitesi. <https://openaccess.selcuk.edu.tr/items/437edad5-8412-4612-b054-40f1bc110bdf/full> adresinden erişildi.

Valverde, M. E., Baca, P., Ceballos, L., Fuentes, M. V., Ruiz-Linares, M. ve Ferrer-Luque, C. M. (2017). Antibacterial efficacy of several intracanal medicaments for endodontic therapy. *Dental Materials Journal*, 36(3), 319-324. doi:10.4012/dmj.2016-102

Vella, V. (2025). In vivo study on evaluation of antimicrobial efficacy of various intracanal medicament in young permanent teeth: A Comparative study. *Journal of Heart Valve Disease*, 30, 24-27.

Wang, C. S., Arnold, R. R., Trope, M. ve Teixeira, F. B. (2007). Clinical efficiency of 2% chlorhexidine gel in reducing intracanal bacteria. *Journal of Endodontics*, 33(11), 1283-1289. doi:10.1016/j.joen.2007.07.010

Weiger, R., Rosendahl, R. ve Löst, C. (2000). Influence of calcium hydroxide intracanal dressings on the prognosis of teeth with endodontically induced periapical lesions. *International Endodontic Journal*, 33(3), 219-226. doi:10.1046/j.1365-2591.1999.00298.x

ENDODONTİK ALET KIRILIŞI: RİSK FAKTÖRLERİ

ÖZLEM ÖZDEMİR¹

FATMA PERTEK HATİPOĞLU²

GİRİŞ:

Kök kanalında alet kırılması, endodontik enstrümanların işlem sırasında döngüsel yorulma veya torsiyonel stres gibi nedenlerle kanal içinde koparak tedavi ilerleyişini engelleyen bir bariyer oluşturmaktadır (Peters, 2004; Sattapan, Nervo, Palamara, & Messer, 2000). Klinik uygulamalarda en sık karşılaşılan bu komplikasyonun görülme sıklığı literatürde %0,25–10 arasında bildirilmektedir (Iqbal, Kohli, & Kim, 2006; Spili, Parashos, & Messer, 2005). Modern endodontik sistemlerdeki metalürjik gelişmelere rağmen, özellikle eğri ve dar kanallarda çalışan NiTi aletlerinin kırılma riski tamamen ortadan kaldırılamamıştır. Klinik açıdan kırıklar çoğunlukla iki temel mekanizma ile ilişkilidir: torsiyonel kilitlenme (alet ucunun kanalda sıkışmasına rağmen şaftın dönmeye devam etmesi) ve döngüsel yorulma (özellikle eğri kanal segmentlerinde tekrarlayan bükülmelere bağlı metal yorgunluğu). Pek çok klinik olguda bu iki mekanizma birlikte rol oynayarak ani ve öngörülemeyen kırıklara yol açmaktadır.

Alet kırığı; metal yorgunluğu, torsiyonel yüklenme, kanalın eğriliği ve darlığı, yetersiz glide path, irrigasyon eksikliği ve operatör tekniği gibi birçok faktörün birleşik etkisiyle ortaya çıkar. Eğri kanallarda çalışan NiTi aletleri hem döngüsel yorulmaya hem de torsiyonel strese maruz kaldığından, aletin zorlanması veya yetersiz kanal hazırlığı bu riski belirgin şekilde artırır (Kosti, Zinelis, Molyvdas, & Lambrianidis, 2011; Ahmad A. Madarati, Hunter, & Dummer, 2013; Martín ve diğerleri., 2003). Bu nedenle alet kırılması, yalnızca bir teknik hata değil; kanal morfolojisi, alet tasarımı ve klinik manipülasyonun karmaşık etkileşiminin doğal bir sonucu olarak değerlendirilmelidir. Bu çok faktörlü yapı, kırık riskinin tek bir değişkene

¹ Araştırma Görevlisi , Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, Orcid: 0009-0006-5513-0445

² Doçent Doktor , Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, Orcid: 0000-0003-0307-3021

indirgenemeyeceğini ve her klinik vakada anatomik, biyomekanik ve operatöre bağlı etkenlerin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Kırık aletin kanalda kalması, mekanik şekillendirme ve irrigasyon etkinliğini kısıtlayarak kök kanal sisteminin tam olarak dezenfekte edilmesini engeller ve bu durum periapikal iyileşmenin gecikmesine yol açabilir (Souter & Messer, 2005). Kırık parçanın çıkarılmaya çalışıldığı durumlarda ise perforasyon, aşırı dentin kaybı veya kök kırığı gibi geri dönüşü güç komplikasyonların oluşma riski artar; bazı olgularda süreç diş kaybıyla sonuçlanabilir (Shemesh, Roeleveld, Wesselink, & Wu, 2011). Ayrıca kırık alet varlığı tedavi süresini uzatabilir, ek randevular gerektirebilir ve hastanın tedaviye olan güvenini olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle kırık aletin varlığı, yalnızca teknik bir engel değil; aynı zamanda tedavinin biyolojik başarısını ve dişin uzun dönem prognozunu etkileyen kritik bir klinik faktör olarak değerlendirilmelidir.

Alet kırılması sadece biyolojik bir sorun olarak değil; hasta açısından kaygı yaratan, klinisyen açısından ise stres ve memnuniyetsizlik oluşturan psikolojik bir yük olarak da değerlendirilir (Ba-Hattab ve diğerleri., 2020; Motamedi, 2009). Pek çok klinisyen için bu durum, tedavi planında değişiklik yapılmasını, alternatif yaklaşımların değerlendirilmesini ve hastaya ayrıntılı bilgilendirme yapılmasını gerektiren karmaşık bir karar süreci doğurur. Özellikle tedavi sırasında gelişen kırıklar, hasta–hekim iletişiminin yeniden yapılandırılmasını ve klinik kararların daha dikkatli bir şekilde gerekçelendirilmesini zorunlu kılar.

Kırık aletin yönetiminde karar; kırık aletin konumu, kanal anatomisi, kök duvar kalınlığı ve mevcut klinik risklerin dikkatle değerlendirilmesine dayanır. Mikroskop altında görülebilen ve koronal ya da orta üçlüde yerleşmiş kırık aletler çoğu zaman güvenli şekilde çıkarılabilirken, apikal bölgede bulunan veya çıkarılması sırasında perforasyon ve dentin kaybı riski yüksek olan kırık aletlerde parçanın yerinde bırakılması veya bypass edilmesi daha uygun olabilir. Son yıllarda operasyon mikroskoplarının, ultrasonik sistemlerin ve mikro-tüp tabanlı çıkarma cihazlarının yaygınlaşması, uygun vakalarda kırık alet çıkarma başarısını belirgin şekilde artırmıştır. Bu bağlamda “başarılı çıkarma” kavramı, her zaman doğru klinik karar ile eş anlamlı değildir; bazı olgularda kırık aletin yerinde bırakılması, dişin yapısal bütünlüğünü koruyarak daha öngörülebilir bir prognoz sağlayabilir.

Operatör deneyimi ve mevcut ekipman, başarının temel belirleyicilerindendir. Tedavi planı oluşturulurken dişin restoratif ve uzun dönem prognostik değeri de göz önünde bulundurulmalı; en az riskle en fazla fayda sağlayan yöntem tercih edilmelidir(Souter &

Messer, 2005). Bu nedenle alet kırığı yönetimi, yalnızca mekanik bir müdahale değil; titiz bir değerlendirme gerektiren multidisipliner bir klinik karar verme sürecidir. Bu süreçte endodontik başarı, yalnızca kırık aletin çıkarılmasına değil; dişin fonksiyonel olarak ağızda tutulabilmesine odaklanmalıdır.

Tüm bu biyolojik, mekanik ve psikolojik etkiler birlikte değerlendirildiğinde, alet kırığı endodontik tedavide karşılaşılan en karmaşık ve çok boyutlu komplikasyonlardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu komplikasyonun klinik olarak öngörülebilmesi ve etkin şekilde yönetilebilmesi, öncelikle kırılmaya zemin hazırlayan risk faktörlerinin ayrıntılı biçimde anlaşılmasına bağlıdır. Kırık alet oluşumu, tek bir nedene indirgenemeyen; kanal anatomisi, alet özellikleri, operatör tekniği ve yardımcı klinik uygulamaların etkileşimiyle şekillenen dinamik bir süreçtir. Bu bölümde, endodontik alet kırığını etkileyen anatomik, alete bağlı ve operatöre bağlı risk faktörleri sistematik bir çerçevede ele alınarak, klinisyenin işlem öncesi risk analizi yapabilmesine ve daha güvenli bir tedavi stratejisi geliştirebilmesine katkı sağlanması amaçlanmaktadır.

ALET KIRIĞININ ETİYOLOJİSİ

Alet kırığı, kök kanal aletinin elastik sınırını aşan mekanik yüklenmelerin zaman içinde birikmesiyle ortaya çıkan çok faktörlü bir olaydır. Alet kırılmasının nedenleri arasında aletlerin tekrarlayan kullanımı, aşırı kuvvet uygulanması, sınırlı esneklik ve dayanım, ayrıca hatalı kullanımı yer alır. Klinik pratikte bu durum genellikle aşırı apikal baskı uygulanması, yeterli glide path oluşturmada döner sistemlere geçilmesi veya aletin üretici önerilerinin dışında kullanılmasıyla ilişkilidir (Walton & Torabinejad, 2009).

Kök kanal sisteminin anatomik çeşitliliği, endodontik tedavi sırasında karşılaşılan en belirgin zorluklardan biridir ve alet kırılmasının en sık nedenleri arasında yer alır (Chaudhari ve diğerleri., 2021; Meidyawati, Suprastiwi, & Setiati, 2019). Ayrıca klinik tekniğe yeterince hâkim olunmaması, aletin uygunsuz kullanılması, yetersiz irrigasyon/lubrikasyon ve çok sayıda sterilizasyon döngüsü de kırık riskini artırır. En yaygın neden, döngüsel yorulma ve torsiyonel stres sınırlarının aşılması, yani aşırı kullanım sonucu dayanımın azalmasıdır. Başka bir ifadeyle, alet her kullanımda belirli miktarda stres biriktirmekte, bu stres kritik eşiği aştığında ani kırılma ile sonuçlanan bir yapısal yetersizlik ortaya çıkmaktadır (Souter & Messer, 2005).

ALET KIRILMASINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Kök Kanal Sisteminin Anatomisi

Kök kanal anatomisi, alet kırılması üzerinde belirleyici etkiye sahip ana faktörlerden biridir. Üst birinci moların mesiobukkal kanalı ile alt birinci moların mezial kanalı, belirgin eğrilikleri ve çoğu zaman birden fazla kanal içermeleri nedeniyle son derece kompleks bir yapı sergiler. Bu bölgelerdeki dar lümen, çift eğrilikler ve füzyon/ayrılma alanları, aletin kanal duvarlarıyla temasını artırarak maruz kaldığı mekanik stresi yükseltir ve kırılma riskini anlamlı şekilde artırır (Iqbal ve diğerleri., 2006; Ungerechts, Bårdsen, & Fristad, 2014). Çeşitli araştırmalar; dar, uzun ve belirgin eğrilığe sahip kanallarda alet kırılması olasılığının arttığını ve döner NiTi alet kırıklarının büyük bölümünün molar dişlerde görüldüğünü göstermektedir. Özellikle kökün orta ve apikal üçlülerindeki keskin eğrilikler, aletin aynı anda hem döngüsel yorulma hem de torsiyonel strese maruz kalmasına yol açarak kırık insidansını yükseltmektedir (Wu ve diğerleri., 2011).

Vertucci Tip V (1–2) kanal konfigürasyonları ve çoklu dallanmalar içeren düzensiz kanal morfolojileri de alet kırılmasına yatkındır (Huang ve diğerleri., 2024; McGuigan, Louca, & Duncan, 2013). Bu anatomilerde ani yön değişiklikleri, isthmuslar ve yan kanallar hem irrigasyon etkinliğini azaltır hem de preparasyonu zorlaştırarak kırık riskini artırır. Ayrıca C-şekilli kök kanal morfolojisinin özellikle Çinli bireylerde ve en sık mandibular ikinci molarlarda görüldüğü bildirilmektedir (Wang, Guo, Yang, Han, & Yu, 2012; Yang ve diğerleri., 2022). Bu kompleks yapı, kanalın etkili şekilde temizlenmesini ve şekillendirilmesini zorlaştırarak alet kırığı riskini yükseltir. C-şekilli sistemlerde lümenlerin birleşip ayrılması, düzensiz dentin kalınlığı ve istmus varlığı; aletin sürtünme alanını artırarak hem yorulma hem torsiyonel kırık riskini artırmaktadır (Martins ve diğerleri., 2020; Xu, Lin, & Guan, 2022).

Kök Kanal Eğriliğinin Yarıçapı ve Derecesi

Bir kök kanalının eğriliği; eğrilik açısı ve eğrilik yarıçapı ile tanımlanır ve bu iki parametre, endodontik aletlerin yorgunluğa karşı direncini doğrudan etkiler. Özellikle NiTi aletlerde kırılma olasılığı, kök kanal eğriliğinin 30°'yi geçtiği durumlarda belirgin şekilde artmakta olup bu kırıklar çoğunlukla kanalın orta veya apikal üçlüsünde meydana gelir (Sobotkiewicz ve diğerleri., 2021; Terauchi, Ali, & Abielhassan, 2022). Eğrilik açısının artması, aletin sürekli olarak daha geniş bir eğri boyunca bükülmesini gerektirir; bu da döngüsel yorulmanın hızlanmasına ve metal yorgunluğu birikiminin kısa sürede kritik düzeye ulaşmasına neden olur.

Eğrilik yarıçapı, kanalın dönüş keskinliğini ifade eder; yarıçap azaldıkça eğrilik keskinleşir. Bu durumda alet üzerindeki stres ve torsiyonel yükler artarak kırılma riskini yükseltir (Al-Sudani ve diğerleri., 2012; Chaniotis & Ordinola-Zapata, 2022). Küçük yarıçaplı eğriliklerde NiTi alet, bir yandan bükülme stresine maruz kalırken diğer yandan torsiyonel kuvvetlere karşı koymak zorunda kalır ve bu iki mekanizmanın birleşimi kırılmayı hızlandırır. Dolayısıyla eğrilik açısı arttıkça ve yarıçap küçüldükçe döngüsel yorulma çok daha hızlı artar ve enstrüman kırığı için en kritik biyomekanik zemini oluşturur.

Yaşa Bağlı Kök Kanal Değişiklikleri

Yaşla birlikte sekonder dentin birikimi sonucu kök kanallarının daralması ve bazı bölgelerde obliterasyona doğru ilerlemesi sık görülür (Montoya, Arango-Santander, Peláez-Vargas, Arola, & Ossa, 2015). Bu fizyolojik daralma yalnızca kanal çapını azaltmakla kalmaz; aynı zamanda kanal morfolojisinin düzensizleşmesine, giriş yollarının zorlaşmasına ve aletin kanalda daha çok sürtünmesine neden olur. Bu durumda alet kullanımı zorlaşır; aletler daha kolay sıkışabilir, düzensiz streslere maruz kalabilir ve kırılma ihtimali artar (Chai ve diğerleri., 2024). Ayrıca yaşlı bireylerde dentin elastikiyetinin azalması, kanal duvarlarının daha kırılgan hale gelmesi ve pulpaya komşu yapısal değişiklikler, torsiyonel blokaj sonrası ani alet kırığı riskini artırabilir.

Alete Bağlı Faktörler

Endodontik tedavi sırasında; kanal preparasyonu, irrigasyon ve dolum aşamalarında eğeler, irrigasyon iğneleri, ultrasonik aktivasyon uçları, spiral taşıyıcılar ve gümüş konlar gibi çeşitli aletler kullanılır. Bu aletler paslanmaz çelik, nikel-titanyum veya karbon çeliği gibi farklı materyallerden üretilmekte olup her biri kendi kullanım amacına uygun mekanik özellikler sergiler (Arias & Peters, 2022; Çapar & Arslan, 2016). Günümüzde NiTi alaşımlarında yapılan metalürjik iyileştirmeler (CM-Wire, M-Wire, R-phase, Gold/Blue Heat Treatment gibi) alet esnekliğini ve yorgunluk dayanımını artırmış olsa da dar, eğri ve kompleks kanallarda alet kırığı olasılığı tamamen ortadan kalkmamıştır (Terauchi, Sexton, Bakland, & Bogen, 2021).

Paslanmaz Çelik Aletler

Paslanmaz çelik aletler aşırı kullanım sonucunda kırılır ve kırılmadan önce genellikle şekil bozukluğu veya kalıcı deformasyon belirtileri gösterir (McGuigan ve diğerleri., 2013). Bu deformasyon, klinisyene erken uyarı sağlayabilen önemli bir avantajdır; çünkü paslanmaz çelik aletlerde kırılma çoğu zaman ani ve öngörülemeyen bir olay değildir.

Nikel-Titanyum (NiTi) Aletler

NiTi eğeler; torsiyonel kırılma (torsional shear failure, TSF), döngüsel fleksural yorgunluk (cyclic flexural fatigue, CFF) veya bu iki mekanizmanın kombinasyonu nedeniyle kırılır. NiTi eğeler, paslanmaz çelik eğelere göre 2–3 kat daha fazla elastik esneklik ve yüksek torsiyonel kırılma direnci sağlar. Ancak NiTi eğeler daha düşük akma ve çekme dayanımına sahiptir; bu da daha düşük yüklerde kırılma riskini artırabilir (McGuigan ve diğerleri., 2013). Ayrıca elastik limitleri içinde ve kalıcı deformasyon belirtisi göstermeden kırılabilirler (Kaul, Gupta, Chhabra, & Koul, 2022; A A Madarati, Watts, & Qualtrough, 2008). Bu özellik, NiTi kırıklarının özellikle tehlikeli kılar; çünkü klinisyen çoğu zaman kırılmadan önce uyarı niteliğinde bir görsel deformasyon fark edemez.

Aletin Çapı ve Kesit Tasarımı

Eğе çapı arttıkça, eğenin çözülmesi veya kırılması için gereken kuvvet de artar (Wolcott ve diğerleri., 2006). Ancak artan çap aynı zamanda esnekliği azaltacağından, dar ve eğri kanallarda döngüsel yorulma riskini artırabilir. Eni genişletilmiş romboid kesitli eğeler, kare kesitli olanlara göre bükülme kuvvetlerine daha az dirençlidir (Guilford, Lemons, & Eleazer, 2005; Schäfer & Tepel, 2001). Kesit geometrisi; aletin kanal duvarıyla temas alanını, tork aktarımını, debris taşıma kapasitesini ve dayanıklılığını doğrudan etkileyen kritik bir tasarım parametresidir. Modern üreticiler, torsiyonel dayanımı artırmak ile esnekliği korumak arasındaki dengeyi sağlamak için farklı kesit tipleri (triangular, S-shape, offset design), değişken pitch uzunluğu ve değişken taper gibi özellikler geliştirmektedir.

İşleme (Operatöre) Bağlı Faktörler

Yetersiz bir giriş kavitesi hazırlanması özellikle pulpa odası tavanının tam olarak kaldırılmaması ya da kanala doğrudan bir giriş hattı oluşturulmaması alet kırığı için temel risk faktörlerinden biridir. Doğrudan girişin sağlanamadığı durumlarda alet, kanalın girişinde gereksiz lateral streslere maruz kalır ve bu durum döngüsel yorulmayı hızlandırarak kırık riskini belirgin şekilde artırır. Bunun yanında aşırı kuvvet uygulanması, yüksek devirle çalışma veya ara eğeleri atlayarak hızlı ilerleme gibi operatör kaynaklı hatalar da kırık riskini anlamlı ölçüde artırır (Ha, Kwak, Kim, Sigurdsson, & Kim, 2017; A A Madarati ve diğerleri., 2008). Kırıkları azaltmaya yönelik teknikler arasında, döner NiTi sistemlerde yaygın olarak önerilen crown-down yaklaşımı, sürtünmeyi azaltarak daha güvenli preparasyon sağlar (da Silva, Kobayashi, & Suda, 2005). Bu yöntem, özellikle dar ve eğri kanallarda koronal boşaltmayı artırarak aletin apikal bölgede daha az strese maruz kalmasına olanak tanır.

Ayrıca, ana şekillendirme eğelerine geçmeden önce en az #15 numara bir glide path oluşturulması, kırık riskini ciddi şekilde azaltan kritik bir adımdır (Hartmann, Peters, de Figueiredo, & Rossi-Fedele, 2018; Kwak, Ha, Cheung, Kim, & Kim, 2018; Lopes ve diğerleri., 2011). Glide path, NiTi eğelerin kanal boyunca dirençsiz ve daha kontrollü ilerlemesini sağlayarak hem torsiyonel blokajı hem de döngüsel yorgunluğu azaltır.

Eğri kanallarda resiprokasyon hareketinin tercih edilmesi, NiTi eğelerin döngüsel yorgunluğa karşı dirençlerini artırır ve kullanım ömrünü uzatır (Cheung ve diğerleri., 2013; Oh ve diğerleri., 2017). Resiprokasyonun tek yönde sürekli rotasyona kıyasla daha güvenli olmasının nedeni, eğeye uygulanan stresin sürekli aynı noktada birikmemesi ve periyodik olarak gerilimin boşalmasıdır.

Kanaldaki eğriliğin artması ve eğrilik yarıçapının azalması, aletin dentinle temas eden yüzey alanını artırarak daha fazla döngüsel yorulmaya neden olur; bu durum endodontik aletin kullanım ömrünü önemli ölçüde kısaltır (A A Madarati ve diğerleri., 2008; Patiño, Biedma, Liébana, Cantatore, & Bahillo, 2005; Pruett, Clement, & Carnes, 1997).

Çalışmalar, eğelerin kaç kez kullanıldığından ziyade nasıl kullanıldığının daha önemli olduğunu göstermektedir (A A Madarati ve diğerleri., 2008; McGuigan ve diğerleri., 2013; Parashos & Messer, 2006). Uygun tork ve hız ayarlarının yapılması, aletin kanalda zorlanmadan ilerlemesi ve düzenli irrigasyon kullanımı, ege ömrü ve güvenliği açısından kullanılan ege sayısından çok daha belirleyicidir. Örneğin crown-down preparasyon tekniğinin, ege taper kilitlenmesini veya sıkışmasını azaltmak için Paslanmaz çelik eğelerle oluşturulan bir glide path sonrası uygulandığında, alet kırığı insidansını anlamlı şekilde azalttığı öne sürülmektedir (McGuigan ve diğerleri., 2013; Patiño ve diğerleri., 2005; Roland, Andelin, Browning, Hsu, & Torabinejad, 2002).

Sterilizasyon ve Dezenfeksiyonun Etkisi

Paslanmaz çelik aletlerle ilgili çalışmalar, sodyum hipoklorit ve otoklav sterilizasyonuna tekrarlayıcı şekilde maruz kalmanın torsiyonel dayanımı bir miktar azaltabileceğini göstermiş olsa da, bu etkinin klinik açıdan genellikle sınırlı olduğu bildirilmektedir (Dioguardi ve diğerleri., 2020; Ragozzini ve diğerleri., 2024; Yılmaz, Uslu, & Özyürek, 2018). Paslanmaz çelik aletlerde ısıya bağlı mikro yapısal değişimler oluşsa da bu değişiklikler çoğu zaman klinik uygulamada belirgin bir kırık risk artışı yaratmaz. NiTi aletlerde ise çoklu sterilizasyon döngülerinin yüzeyde korozyon ve çeşitli yüzey kusurlarına neden olarak pürüzlülüğü

artırabildiği gösterilmiştir. Artan yüzey pürüzlülüğü teorik olarak döngüsel yorgunluk direncini azaltabilir; ancak bu değişimlerin kırıkla doğrudan ilişkisi henüz güçlü klinik kanıtlarla desteklenmemektedir. Buna karşın literatürde bu yüzey değişimlerinin alet kırılmasıyla doğrudan ilişkisini kanıtlayan net bir bulgu bulunmamaktadır (G. B. Alexandrou, Chrissafis, Vasiliadis, Pavlidou, & Polychroniadis, 2006; G. Alexandrou, Chrissafis, Vasiliadis, Pavlidou, & Polychroniadis, 2006; Eggert, Peters, & Barbakow, 1999; Spagnuolo ve diğerleri., 2012; Valois, Silva, & Azevedo, 2008). Bazı araştırmalar ise, kuru ısı veya otoklav sterilizasyonunun belirli NiTi aletlerde döngüsel yorgunluk direncini ve torsiyonel dayanımı artırabildiğini de rapor etmektedir (El Abed ve diğerleri., 2022; Goo, Kwak, Ha, Pedullà, & Kim, 2017; Kang, Kwak, Ha, Gambarini, & Kim, 2025; Plotino ve diğerleri., 2012; Zhao, Shen, Peng, & Haapasalo, 2016). Bu beklenmedik bulgunun olası açıklamalarından biri, ısı uygulamasının bazı NiTi alaşımlarında faz dönüşüm davranışlarını etkileyerek esnekliği artırmasıdır. Bu nedenle sterilizasyonun alet performansı üzerindeki etkisine yönelik mevcut veriler tutarsızdır ve klinik açıdan anlamlı sonuçlara ulaşabilmek için daha kapsamlı, standardize ve kontrollü çalışmalara ihtiyaç vardır.

İrrigasyon Solüsyonlarının Etkisi

İrrigasyon sırasında kullanılan solüsyonlar da alet kırılma riskini etkileyebilir (Sonntag & Peters, 2007; Zou ve diğerleri., 2024). NiTi ve paslanmaz çelik aletlerin yüksek konsantrasyonlu sodyum hipoklorite uzun süre veya yüksek sıcaklık altında maruz kalmasının korozyona neden olduğu gösterilmiştir (Alfawaz ve diğerleri., 2022). Bu korozyon, alet yüzeyinde mikroskobik kusurlar oluşturarak döngüsel yorgunluk direncini azaltır (Peters, Roehlike, & Baumann, 2007). Alet yüzeyindeki bu mikropitler stres birikim noktaları oluşturarak metal yorgunluğunun hızlanmasına ve klinik kullanım sırasında ani kırılmalara yol açabilir.

Bazı irrigasyon solüsyonlarındaki şelatörler, sodyum hipokloritin aktif klorunu hızla tüketebilir; bu durum hem irrigasyonun etkinliğini düşürür hem de korozyon sürecini hızlandırabilir (Grawehr, Sener, Waltimo, & Zehnder, 2003; Zehnder, Schmidlin, Sener, & Waltimo, 2005). Özellikle EDTA veya sitrik asit ile eş zamanlı hipoklorit kullanımı sırasında meydana gelen oksidatif reaksiyonların, NiTi yüzey yapısını bozarak alet dayanımını olumsuz etkileyebileceği bildirilmiştir.

Araştırmalar, düşük konsantrasyonlu sodyum hipokloritin veya kısa süreli temasın NiTi aletlerin yorgunluk veya torsiyonel direncini anlamlı şekilde etkilemediğini göstermektedir.

Buna karşın uzun süreli maruziyet ya da yüksek sıcaklık, korozyonun ve yorgunluk hasarının belirgin şekilde artmasına yol açarak klinik kullanım sırasında kırılma riskini yükseltmektedir (Berutti, Angelini, Rigolone, Migliaretti, & Pasqualini, 2006; Chan, Gulati, & Peters, 2023; Peters ve diğerleri., 2007). Bu nedenle irrigasyon solüsyonlarının konsantrasyonu, sıcaklığı ve maruz kalma süresi, alet güvenliği açısından mutlaka kontrol altında tutulmalıdır.

Sonuç olarak endodontik alet kırığı, tek bir nedene indirgenemeyen; kanal anatomisi (eğrilik derecesi ve yarıçapı, kompleks morfolojiler, yaşa bağlı daralma), aletin materyal ve tasarım özellikleri, operatörün teknik yaklaşımı ve yardımcı klinik uygulamaların (glide path, irrigasyon, sterilizasyon ve kimyasal maruziyet) etkileşimiyle şekillenen çok faktörlü bir komplikasyondur. Bu nedenle kırık riskini azaltmada en etkili yaklaşım, kırık oluştuğunda ne yapılacağından önce, işlem öncesi risk analizinin doğru yapılması ve kanal anatomisine uyarlanmış, kontrollü ve standardize bir preparasyon protokolünün uygulanmasıdır. Klinik pratikte güvenli giriş yolu, yeterli glide path, üretici önerilerine uygun tork-hız kullanımı, düzenli irrigasyon/lubrikasyon ve anatomik zorluk düzeyine göre strateji belirleme; kırığın önlenmesinde anahtar basamaklardır. Bu bölümde sunulan risk faktörlerinin sistematik değerlendirilmesi, klinisyene daha öngörülebilir ve güvenli bir tedavi planı oluşturma olanağı sağlayarak hem komplikasyon oranlarını azaltır hem de dişin uzun dönem prognozunu korumaya katkıda bulunur.

Kaynakça

Alexandrou, G. B., Chrissafis, K., Vasiliadis, L. P., Pavlidou, E., & Polychroniadis, E. K. (2006). SEM observations and differential scanning calorimetric studies of new and sterilized nickel–titanium rotary endodontic instruments. *Journal of Endodontics*, 32(7), 675–679. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2006.01.003>

Alexandrou, G., Chrissafis, K., Vasiliadis, L., Pavlidou, E., & Polychroniadis, E. K. (2006). Effect of heat sterilization on surface characteristics and microstructure of Mani NRT rotary nickel–titanium instruments. *International Endodontic Journal*, 39(10), 770–778. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2006.01147.x>

Alfawaz, H., Alqedairi, A., Alhamdan, M., Alkhzm, N., Alfarraj, S., & Jamleh, A. (2022). Effect of NaOCl and EDTA irrigating solutions on the cyclic fatigue resistance of EdgeTaper Platinum instruments. *BMC Oral Health*, 22(1), 195. <https://doi.org/10.1186/s12903-022-02215-0>

- Al-Sudani, D., Grande, N. M., Plotino, G., Gambarini, G., & Testarelli, L. (2012). Cyclic fatigue of nickel–titanium rotary instruments in a double (S-shaped) simulated curvature. *Journal of Endodontics*, 38(7), 987–989. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.03.025>
- Arias, A., & Peters, O. A. (2022). Present status and future directions: Canal shaping. *International Endodontic Journal*, 55(Suppl 3), 637–655. <https://doi.org/10.1111/iej.13698>
- Ba-Hattab, R., Al-Shahrani, S., Al-Ghamdi, N., Al-Qarni, M., Al-Johani, M., & Jamleh, A. (2020). Ethical aspects concerning instrument separation and perforations during endodontic treatment: A cross-sectional study. *International Journal of Dentistry*, 2020, 8849105. <https://doi.org/10.1155/2020/8849105>
- Berutti, E., Angelini, E., Rigolone, M., Migliaretti, G., & Pasqualini, D. (2006). Influence of sodium hypochlorite on fracture properties and corrosion of ProTaper rotary instruments. *International Endodontic Journal*, 39(9), 693–699. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2006.01134.x>
- Çapar, I. D., & Arslan, H. (2016). A review of instrumentation kinematics of engine-driven nickel–titanium instruments. *International Endodontic Journal*, 49(2), 119–135. <https://doi.org/10.1111/iej.12432>
- Chai, R., Jiang, X., Ma, R., Zhang, Q., Yang, E., & Zhang, A. (2024). Different strategies for treating intracanal fractured instruments in a single tooth: A case report. *Experimental and Therapeutic Medicine*, 28(5), 411. <https://doi.org/10.3892/etm.2024.12700>
- Chaniotis, A., & Ordinola-Zapata, R. (2022). Present status and future directions: Management of curved and calcified root canals. *International Endodontic Journal*, 55(Suppl 3), 656–684. <https://doi.org/10.1111/iej.13685>
- Cheung, G. S.-P., Oh, S.-H., Ha, J.-H., Kim, S. K., Park, S.-H., & Kim, H.-C. (2013). Effect of torsional loading of nickel–titanium instruments on cyclic fatigue resistance. *Journal of Endodontics*, 39(12), 1593–1597. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.07.032>
- Dioguardi, M., Alovise, M., Sovereto, D., Aiuto, R., Laneve, E., & Cocco, A. (2020). Management of instrument sterilization workflow in endodontics: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Dentistry*, 2020, 5824369. <https://doi.org/10.1155/2020/5824369>

Eggert, C., Peters, O. A., & Barbakow, F. (1999). Wear of nickel–titanium LightSpeed instruments evaluated by scanning electron microscopy. *Journal of Endodontics*, 25(7), 494–497. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(99\)80289-1](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(99)80289-1)

El Abed, R., Pedullà, E., Rapisarda, E., et al. (2022). Fracture resistance of heat-treated nickel–titanium rotary files after usage and autoclave sterilization: An in vitro study. *Journal of Endodontics*, 48(11), 1428–1433. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2022.08.004>

Goo, H.-J., Kwak, S. W., Ha, J.-H., Pedullà, E., & Kim, H.-C. (2017). Mechanical properties of various heat-treated nickel–titanium rotary instruments. *Journal of Endodontics*, 43(11), 1872–1877. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2017.05.025>

Grawehr, M., Sener, B., Waltimo, T., & Zehnder, M. (2003). Interactions of ethylenediaminetetraacetic acid with sodium hypochlorite in aqueous solutions. *International Endodontic Journal*, 36(6), 411–417. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2003.00670.x>

Ha, J.-H., Kwak, S. W., Kim, S. K., Sigurdsson, A., & Kim, H.-C. (2017). Effect from rotational speed on torsional resistance of the nickel–titanium instruments. *Journal of Endodontics*, 43(3), 443–446. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.10.032>

Hartmann, R. C., Peters, O. A., de Figueiredo, J. A. P., & Rossi-Fedele, G. (2018). Association of manual or engine-driven glide path preparation with canal centring and apical transportation: A systematic review. *International Endodontic Journal*, 51(11), 1239–1252. <https://doi.org/10.1111/iej.12943>

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. *Journal of Endodontics*, 32(11), 1048–1052. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2006.03.001>

Kang, Y. J., Kwak, S. W., Ha, J.-H., Gambarini, G., & Kim, H.-C. (2025). Fracture resistances of heat-treated nickel–titanium files used for minimally invasive instrumentation. *BMC Oral Health*, 25(1), 126. <https://doi.org/10.1186/s12903-025-05487-4>

Kosti, E., Zinelis, S., Molyvdas, I., & Lambrianidis, T. (2011). Effect of root canal curvature on the failure incidence of ProFile rotary Ni-Ti endodontic instruments. *International Endodontic Journal*, 44(10), 917–925. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2011.01900.x>

- Madarati, A. A., Hunter, M. J., & Dummer, P. M. H. (2013). Management of intracanal separated instruments. *Journal of Endodontics*, 39(5), 569–581. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.12.033>
- Martín, B., Zelada, G., Varela, P., et al. (2003). Factors influencing the fracture of nickel–titanium rotary instruments. *International Endodontic Journal*, 36(4), 262–266. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2003.00630.x>
- Peters, O. A. (2004). Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: A review. *Journal of Endodontics*, 30(8), 559–567. <https://doi.org/10.1097/01.DON.0000129039.59003.9D>
- Spili, P., Parashos, P., & Messer, H. H. (2005). The impact of instrument fracture on outcome of endodontic treatment. *Journal of Endodontics*, 31(12), 845–850. <https://doi.org/10.1097/01.don.0000164127.62864.7c>
- Sattapan, B., Nervo, G., Palamara, J., & Messer, H. (2000). Defects in rotary nickel–titanium files after clinical use. *Journal of Endodontics*, 26(3), 161–165. <https://doi.org/10.1097/00004770-200003000-00008>
- Terauchi, Y., Ali, W. T., & Abielhassan, M. M. (2022). Present status and future directions: Removal of fractured instruments. *International Endodontic Journal*, 55(Suppl 3), 685–709. <https://doi.org/10.1111/iej.13743>
- Zehnder, M., Schmidlin, P., Sener, B., & Waltimo, T. (2005). Chelation in root canal therapy reconsidered. *Journal of Endodontics*, 31(11), 817–820. <https://doi.org/10.1097/01.don.0000158233.59316.fe>

BÖLÜM 7

ENDODONTİK TEDAVİLER SONRASI AĞRI KONTROLÜNDE KRİYOTERAPİ

GİZEM PELİN YOLDAŞ¹
HATİCE BÜYÜKÖZER ÖZKAN²

Giriş

Genel Bilgiler

Diş ağrısı, hastaların kliniklere, özellikle de endodonti kliniklerine başvurmalarının başlıca nedenlerinden biridir. Ağrı yönetimi, hem hasta ve klinisyen arasındaki iş birliği hem de klinisyenin becerisi açısından büyük önem taşır. Bu, hastaların tedavi sürecindeki memnuniyetini ve tedavi başarısını doğrudan etkileyebilir. Kanal tedavilerinde, işlem sürecinde ve sonrasında hastanın yaşayabileceği ağrının azaltılması ve yönetilmesi en temel

¹ Arş.Gör., Alaaddin Keykubat Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, Orcid: 0009-0009-2428-5411

² Dr. Öğr. Üyesi, Alaaddin Keykubat Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, Orcid: 0000-0003-4419-1518

hedeflerden biridir (Attar, Bowles, Baisden, Hodges, & McClanahan, 2008).

Diş hekimliği uygulamaları arasında, kanal tedavisinin postoperatif ağrı ile anlamlı düzeyde ilişki gösterdiği ve bu ağrı prevalansının %3 ile %58 arasında değiştiği rapor edilmiştir (Levin, Amit, & Ashkenazi, 2006; Sathorn, Parashos, & Messer, 2008). Yapılan çalışmalara göre, kanal tedavisi sonrasında ortaya çıkan ağrının; periradiküler dokuların kimyasal ya da mekanik olarak irritasyona maruz kalması veya kanal içinde kalan mikrobiyal artıklar nedeniyle gelişebildiği bildirilmektedir (Attar et al., 2008; Ince et al., 2009). Ayrıca endodontik tedavi sonrası altı aydan uzun süren kalıcı ağrının görülme oranının %4,9 ile %12 arasında değiştiği ortaya konmuştur (Polycarpou, Ng, Canavan, Moles, & Gulabivala, 2005; Vena et al., 2014). Bu tür kronik ağrılar, diş çekimlerinin başlıca nedenlerinden biri olarak kabul edilmektedir (Khan, Maixner, & Lim, 2014). Dolayısıyla postoperatif ağrı kontrolü, klinisyenler açısından büyük önem taşımaktadır. Postoperatif ağrının kontrol altına alınmasına yönelik olarak literatürde farmakolojik ve farmakolojik olmayan birçok yaklaşım tanımlanmaktadır. Bu yöntemler arasında oklüzal redüksiyon (Parirokh et al., 2013), düşük doz lazer uygulamaları (Doganay Yıldız & Arslan, 2018), antienflamatuvar ilaçların reçetelendirilmesi (Ryan et al., 2008), uzun süre etkili lokal anesteziklerin tercih edilmesi (Tupyota et al., 2018) ve işlem öncesi antihistaminik kullanımı (Arslan, Gundogdu, & Sumbullu, 2016) gibi farklı uygulamalar yer almaktadır. Söz konusu tekniklerin birbirlerine göre çeşitli avantaj ve dezavantajları bulunmakla birlikte, her birinin kendi içinde birtakım sınırlılıkları olduğu bildirilmektedir. Örneğin; antienflamatuvar ilaçların mide mukozası ve karaciğer üzerinde olumsuz etkilere yol açabileceği belirtilirken, lazer tedavisi ve

oklüzal redüksiyonun postoperatif ağrıyı azaltmadaki etkinliğine ilişkin çalışmalar tutarlı sonuçlar ortaya koymamıştır (Guerreiro et al., 2021; Harirforoosh, Asghar, & Jamali, 2013). Bu nedenle, düşük maliyetli, kolay uygulanabilir ve toksik etkisi olmayan bir yöntem olan kriyoterapi giderek daha fazla ilgi gören bir alternatif hâline gelmiştir (D. M. Fayyad, N. Abdelsalam, & N. Hashem, 2020).

Kriyoterapinin Tanımı

Kriyoterapi, tedavi amacıyla dokuların sıcaklığının düşürülmesi esasına dayanan bir yöntemdir. Terim, Yunanca 'da "soğuk" anlamına gelen *cryos* ile "tedavi" anlamındaki *therapeia* sözcüklerinin birleşiminden türemiştir. Bu nedenle kriyoterapi, düşük sıcaklık uygulanarak gerçekleştirilen terapötik müdahaleleri ifade eder (Belitsky, Odam, & Hubley-Kozey, 1987). Ancak kavram yalnızca hedef dokunun soğutulmasını değil, daha sıcak dokudan daha soğuk bir ortama doğru ısının transfer edilmesini tanımlar. Uygulanan soğuk ya da sıcaklığın etkisi; kullanılan materyalin sıcaklık derecesine, uygulamanın süresine, dokuların ısı iletkenliğine ve soğutucu ajanın türüne bağlı olarak değişmektedir. Bu müdahale, temasta bulunduğu insan dokusunda lokal sıcaklık değişimlerine yol açar (Belitsky et al., 1987).

Tarihsel olarak, M.Ö. 3000'lerde eski Mısır'da yaralanmaların iyileştirilmesi ve inflamasyonun azaltılması amacıyla ilk soğuk uygulamaları yapılmıştır. Antik Yunan'da Hipokrat, kriyoterapinin hem lokal hem de sistemik şekilde tedavi amaçlı kullanılmasını önermiştir. Modern anlamda soğuk tedavisinin tıbbi kullanımı ise 1851 yılında James Arnott'un tuz ve buz karışımını malign hastalıkların tedavisinde uygulamasını belgelediği ilk çalışmayla kayda geçmiştir (Nayeema & Subha, 2013). Günümüzde kriyoterapi, özellikle 1960'lı yıllardan itibaren

ağrı kontrolü başta olmak üzere birçok klinik alanda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tıpta Kriyoterapinin Uygulamaları

Kriyoterapi, dokularda sıcaklık ve kan akımını azaltma, kimyasal mediyatörlerin uyardığı nosiseptörlerin aktivitesini baskılama ve metabolik süreçleri yavaşlatma açısından etkili bir yöntemdir. Farmakolojik olmayan bir analjezi yaklaşımı olarak kriyoterapi, tıp alanında cerrahi işlemler sonrası ağrı kontrolünde uzun süredir yaygın biçimde kullanılmaktadır. Tıbbi uygulamalarda; spor travmaları, tendinit, burkulmalar, artrit kaynaklı ağrılar, kalça ve diz protezi operasyonları sonrası bakım, alçı veya atel altındaki ağrı ve ödemin azaltılması, bel ağrılarının yönetimi gibi çeşitli endikasyonlarda yer bulmuştur. Ayrıca premalign ya da displastik dokuların ortadan kaldırılmasında da tedavi seçeneği olarak kullanıldığı bildirilmiştir (Ahdoon, Lebastchi, Turkbey, Wood, & Pinto, 2019; McDowell, McFarland, & Nalli, 1994; Watkins et al., 2014).

Kriyoterapinin ortopedi, abdominal cerrahi, jinekolojik girişimler ve fıtık operasyonlarında kısa süreli uygulanmasının ödem, inflamasyon ve ağrıyı azaltarak iyileşme sürecini hızlandırdığı tıbbi literatürde belirtilmiştir. Ayrıca ameliyat sonrası dönemde narkotik analjezik kullanım ihtiyacını düşürdüğü de rapor edilmiştir (Kwekkeboom, 2001; Watkins et al., 2014). Bu özellikleri nedeniyle kriyoterapi, özellikle ileri yaş hastalarda veya ilaç alerjisi olan bireylerde, işlem sonrası ağrı yönetimini minimal yan etki ile sağlayan güvenli ve etkili bir alternatif olarak önerilmektedir.

Kriyoterapinin etki mekanizması

Kriyoterapinin fizyolojik etkileri; damar yapısı, sinir iletimi ve doku metabolizması üzerinde yoğunlaşan üç ana başlık altında

değerlendirilmektedir. Dokular 15 dakikayı aşan sürelerde düşük sıcaklığa maruz kaldığında, ilk olarak vazokonstrüksiyon gerçekleşir; bu aşamayı soğuğa bağlı gelişen reaktif vazodilatasyon izler. Vazodilatasyonun ortaya çıkışında, histamin benzeri “H maddesi”nin (substance H) salınımı rol oynar. Bu süreç sonrasında bölgeye akan sıcak kan miktarı artar, akabinde yeniden vazokonstrüksiyon ve daha sonra tekrar vazodilatasyon oluşur. Vazokonstrüksiyon, damar duvarındaki adrenerjik elemanların tetiklediği nöral bir refleks olup, vasküler geçirgenliğin azalmasına yol açar. Geçirgenlikteki bu azalma, eksüda ve transüdanın periradiküler dokulara sızmasını sınırlayan temel mekanizmadır. Böylece endodontik kemomekanik preparasyon sonrası periapikal dokularda sıklıkla ortaya çıkan ödem ve şişlik azaltılabilir (Sahuquillo & Vilalta, 2007).

Kriyoterapinin sinir sistemi üzerindeki analjezik etkisi ise nosiseptif duyuşal sinir liflerinin iletim hızındaki değişimlerle tamamlanır (Herrera, Sandoval, Camargo, & Salvini, 2010). Soğuk uygulaması, nöral iletimi yavaşlatarak analjezi oluşturur ve bu etki miyelinli A-delta liflerinde, miyelinsiz C liflerine göre daha belirgindir (Watkins et al., 2014). Bunun yanı sıra kriyoterapi, endorfin gibi nöroaktif maddelerin salınımını uyarak analjezik yanıtı güçlendirebilir. Endorfinler medüller dorsal boynuzdaki opioid reseptörlerine bağlanarak nosiseptif sinyallerin merkezi sinir sistemine iletimini engeller. Ayrıca soğuk uygulamanın, doku hasarı sonrası aktive olan nosiseptörlerin eşik değerini değiştirdiği ve lokal anesteziye etkiye benzer şekilde “soğuk kaynaklı nöropraksi” oluşturduğu bildirilmiştir. Dolayısıyla kriyoterapinin analjezik etkisi, kimyasal ağrı mediyatörlerinin azalması ve nöral ağrı impulslarının daha yavaş ilerlemesinin birleşik sonucudur (Ernst & Fialka, 1994; Malanga, Yan, & Stark, 2015).

Doku metabolizması açısından değerlendirildiğinde, yaralanmış dokular oksijen tüketiminde artış eğilimindedir ve bu durum hipoksiye bağlı hücresel hasarı beraberinde getirir. Kriyoterapi, doku kan akımını ve hücresel metabolizmayı %50'den fazla azaltarak metabolik aktivitenin düşmesine, oksijen gereksiniminin azalmasına ve serbest radikal üretiminin sınırlandırılmasına olanak tanır. Böylece doku hipoksisi ve buna bağlı gelişebilecek ikincil hasar engellenmiş olur (Malanga et al., 2015).

Kriyoterapinin lokal fizyolojik etkileri de ayrıntılı şekilde araştırılmıştır. Soğuk uygulama dokudan ısının uzaklaştırılmasıyla sıcaklığın düşmesine yol açar; bu sıcaklık azalması vazokonstrüksiyonu tetikler ve ödem oluşumu sınırlandırılır. Vazokonstrüksiyon ayrıca hücre metabolizmasını düşürür ve hücrelerin oksijen gereksinimi azalır. Enflamatuvar enzimlerin aktivitelerinin sıcaklık düştükçe azaldığı da gösterilmiştir. Deri üzerine yapılan lokal soğuk uygulamalarının ağrı eşliğini yükselttiği ve algılanan ağrıyı azalttığı bilinmektedir (McLean, 1989). Bunun yanında kriyoterapinin sinir iletim potansiyelini etkilediği ve termoreseptör olarak adlandırılan, sıcaklık değişikliklerine duyarlı sinir uçlarının aktivasyonunu değiştirerek spinal seviyede noisepsiyonun bloke edilebildiği gösterilmiştir (Ernst & Fialka, 1994; Malanga et al., 2015; McLean, 1989; Sambroski, Stratz, & Sobieska, 1992).

Tıpta yaygın kullanımına rağmen kriyoterapi uygulamalarının optimal süreleri, doku soğutulmasının ne kadar sürdüğü ve soğutucu ajanın etkisinin dokuların ne kadar derinine ulaştığı gibi parametreler konusunda literatür hâlâ sınırlı bilgi sunmaktadır. Hücresel ölüm için gereken sıcaklık aralığı da tam olarak net değildir; çoğu dokunun 2,2 °C'de donmasına rağmen, 20

°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda hücresel nekrozun oluşmadığı gözlenmektedir (Modabber et al., 2013).

Endodontide Kriyoterapinin Uygulamaları

Tıpta olduğu gibi diş hekimliğinde de kriyoterapi, periodontal cerrahi girişimler (Odrich & Kelman, 1967), diş çekimleri ve implant yerleştirilmesi gibi çeşitli ağız içi cerrahi işlemlerin ardından görülen ödem ve ağrının kontrol altına alınmasında yaygın şekilde tercih edilmektedir (Rana et al., 2011). Bunun yanı sıra temporomandibular eklem bozukluklarıyla ilişkili artritlik durumların hafifletilmesinde de etkin bir yöntem olarak bildirilmiştir (Lande & Templeton, 1988).

Özellikle ağız içi cerrahi uygulamalarda, üçüncü molar çekimleri sonrasında gözlenen postoperatif şişlik ve rahatsızlığın azaltılmasında kriyoterapinin olumlu klinik sonuçlar verdiği çalışmalarla desteklenmiştir (Dalia Mukhtar Fayyad, Nelly Abdelsalam, & Nasr Hashem, 2020; Rana et al., 2011).

Endodontide kanal içi kriyoterapi, kök kanal tedavisini takiben ortaya çıkan postoperatif ağrıyı azaltmak için basit, ekonomik ve etkili bir yöntem olarak önerilmektedir (Al-Nahlawi, Hatab, Abd Alrazak, & Al-Abdullah, 2017; Bazaid & Kenawi, 2018; Jain et al., 2018). Periradiküler dokularda inflamasyonu azaltmaya yönelik uygulamalardan biri, kanal genişletildikten sonra düşük sıcaklıktaki bir solüsyonla irrigasyon yapılmasıdır. Bu işlemin etkinliğinin EndoVac (Kerr Endo, Orange Country, CA, ABD) gibi negatif basınç kullanan irrigasyon sistemleri ile artırılabilirdiği gösterilmiştir (Schoeffel, 2008). Kanal içi kriyoterapinin periapikal dokularda sıcaklık düşüşü sağlayarak inflamasyonu azaltabileceğine ilişkin ilk bulgular ise Vera ve ark.'nın 2015 yılında gerçekleştirdiği çalışmada rapor edilmiştir (Vera et al., 2015). Bu in vitro çalışmada

soğuk salin solüsyonlarıyla irrigasyonun, kök yüzey sıcaklığında 10 °C'nin üzerinde bir azalma oluşturduğu ve bu etkinin yaklaşık dört dakika sürdüğü bildirilmiştir. Bu sıcaklık düşüşünün periapikal bölgede lokal anti-inflamatuvar bir yanıt oluşturmak için yeterli olabileceği teorik olarak ileri sürülmüştür (Vera et al., 2015).

Endodontik tedavilerde kriyoterapinin analjezik ve antienflamatuvar etkileri; lokal vazokonstriksiyon, kapiller permeabilitenin azalması, sinir iletim hızının baskılanması ve hücrel metabolik aktivitenin düşürülmesi gibi fizyolojik mekanizmalarla açıklanmaktadır. Ancak bu vazokonstriktif etki, özellikle Raynaud fenomeni bulunan bireylerde belirgin mikrovasküler dolaşım bozukluğuna yol açabilmekte ve soğuğa maruziyet sonrası abartılı vazospazm, doku hipoksisi ve ağrı artışı gibi advers klinik sonuçlara neden olabilmektedir. Bu nedenle Raynaud fenomeni, kriyoterapi uygulamaları için önemli bir kontrendikasyon olarak kabul edilmektedir. Literatürde, soğuk uygulamasının Raynaud hastalarında vasküler yanıtı daha da şiddetlendirdiği ve doku toleransını azalttığı açıkça belirtilmiştir (Garcia, Karri, Zacharias, & Abd-Elseyed, 2021). Bunun yanı sıra aritmi, anjina pectoris, hipertansiyon gibi sistemik hastalıkları veya kardiyovasküler sorunları olan bireylerde kriyoterapi kullanımı da tartışmalıdır; çünkü soğuğun tetiklediği vazokonstriksiyon kan basıncında yükselmeye neden olabilir (MacAuley, 2001). Bu bağlamda endodontide özellikle intraoral ve ekstraoral kriyoterapi uygulamalarında, hasta seçiminde vasküler hastalık öyküsünün dikkatle sorgulanması ve kriyoterapinin potansiyel risk-fayda dengesinin değerlendirilmesi gerekmektedir.

Kök kanallarında kriyoterapi uygulanmasının güçlüklerinden biri, dentinin apikal ve koronal bölgelerinde farklı genişlik, yoğunluk ve mineralizasyon özellikleri göstermesidir. Bu

durum, periodontal ligament bölgesine soğuk iletiminin kökün farklı seviyelerinde değişkenlik göstermesine neden olabilir. Servikal dentinin daha geniş dentin tübüllerine sahip olması, bu bölgeden komşu dokulara termal uyaran iletimini zorlaştırırken; apikal dentinin daha mineralize ve daha yoğun yapıda olması nedeniyle soğuk iletiminin bu seviyede daha etkin gerçekleşebileceği düşünülmektedir (Xu et al., 2016).

Kriyoterapi için ideal uygulama süresi dokunun yapısına göre değiştiğinden kesin bir dozaj protokolü bulunmamaktadır. Örneğin, kas ve yağ dokusunun minimal olduğu bölgelerde (parmak gibi) 3–5 dakikalık bir uygulama önerilirken, daha fazla kas ve yağ dokusu içeren anatomik alanlarda önerilen sürenin yaklaşık 20 dakika olduğu belirtilmiştir (Bleakley & Hopkins, 2010). Endodontide yapılan çalışmaların büyük kısmında kanal içi soğuk uygulama süresi beş dakika olarak standartlaştırılmıştır. Vera ve ark. (Vera et al., 2015), kök kanallarının 2,5 °C'deki soğuk salin ile beş dakika süreyle irrigasyonunun dış kök yüzeyi sıcaklığını belirgin şekilde düşürdüğünü bildirmiştir. Aynı çalışmada bu sıcaklık düşüşünün 10 °C'nin üzerinde olduğu ve yaklaşık dört dakika süreyle korunduğu gösterilmiştir (Vera et al., 2015). Bu bulgular, sonraki yıllarda kriyoterapinin endodontide araştırılması için temel oluşturmuş ve farklı çalışma grupları tarafından benzer protokoller uygulanmıştır (Al-Nahlawi et al., 2017; Bazaid & Kenawi, 2018; Keskin, Özdemir, Uzun, & Güler, 2017; Vera et al., 2018; Vieyra, Enriquez, Acosta, & Guardado, 2019).

Kanal içi kriyoterapinin klinik uygulaması ilk kez Keskin ve ark. (Keskin et al., 2017) tarafından değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, vital olup tek seansta tedavi edilen 175 diş rastgele iki gruba ayrılmıştır. Kriyoterapi grubunda, kök kanal şekillendirmesinin ardından son irrigasyon olarak 2,5 °C'ye

soğutulmuş %0,9 fizyolojik salin solüsyonu beş dakika boyunca uygulanmıştır. Kontrol grubunda ise oda sıcaklığındaki fizyolojik salin kullanılmıştır. Ağrı seviyeleri dolumdan 24 ve 48 saat sonra görsel analog skala (VAS) ile ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar, soğuk salin kullanılan grupta postoperatif ağrı skorlarının anlamlı derecede daha düşük olduğunu göstermiştir. Bu bulgu, kriyoterapinin endodontik işlemler sonrası ağrı yönetiminde etkili bir tamamlayıcı yöntem olabileceğini desteklemektedir.

Vera ve ark. (Vera et al., 2015), soğuk irrigasyonun apikal üçlüye kesintisiz ulaşmasını sağlamak ve “buhar kilidi” etkisini engellemek amacıyla negatif apikal basınç prensibiyle çalışan EndoVac sistemini (Kerr Endo, Orange Country, CA, ABD) kullanmışlardır. EndoVac sisteminin, irrigasyon solüsyonunun apeks dışına taşma olasılığını önemli ölçüde azalttığı ve böylece periapikal inflamatuvar reaksiyon riskini düşürdüğü daha önceki çalışmalarla desteklenmiştir (Siu & Baumgartner, 2010). Bununla birlikte Keskin ve ark. (Keskin et al., 2017), çalışmalarında tüm hastalarda konvansiyonel irrigasyon protokolü uygulamış ve 31 gauge yandan perfore NaviTip iğnesini çalışma boyundan 2 mm kısa yerleştirerek kullanmışlardır. Literatürde konvansiyonel iğne irrigasyonunun, negatif apikal basınç sistemlerine kıyasla çok daha fazla irrigasyon sıvısı taşmasına yol açtığı ve bunun da postoperatif ağrıya katkıda bulunduğu belirtilmektedir (Keskin et al., 2017; Siu & Baumgartner, 2010). Bu nedenle güvenli irrigasyon sağlamak için, önceki araştırmalarda da önerildiği gibi, irrigasyon iğnesinin çalışma boyundan 2 mm kısa konumlandırılması uygulanmıştır (Nielsen & Baumgartner, 2007; Siu & Baumgartner, 2010). Konvansiyonel iğne kullanılmış olmasına rağmen Keskin ve ark.’nın çalışmasında kriyoterapi grubunda, kontrol grubuna göre belirgin şekilde daha düşük postoperatif ağrı tespit edilmiştir.

Al-Nahlawi ve ark. (Al-Nahlawi et al., 2017), vital tek köklü 75 dişte tek seansta yürütülen kök kanal tedavisi sırasında EndoVac sistemi kullanarak kanal içi kriyoterapinin postoperatif ağrı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Kontrol grubunda herhangi bir salin irrigasyonu yapılmazken, deney gruplarında 20 mL oda sıcaklığındaki salin ile 5 dakika irrigasyon veya 20 mL 2–4 °C soğuk salin ile 5 dakika irrigasyon uygulanmıştır. Ağrı skorları, kanal dolumu sonrasında 6, 12, 24, 48 saat ve 7. günde VAS ile değerlendirilmiştir. Bulgular, soğuk salin uygulanan grupta ilk 48 saat boyunca VAS değerlerinin hem oda sıcaklığındaki salin grubundan hem de kontrol grubundan anlamlı derecede düşük olduğunu göstermiştir.

Vieyra ve ark. (Vieyra et al., 2019) ise tek seansta gerçekleştirilen kök kanal tedavilerinde farklı sıcaklıklardaki üç ayrı irrigasyon protokolünün postoperatif ağrı üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Çalışmada vital dişlere sahip 240 hasta yer almış ve kanal şekillendirilmesinin ardından son irrigasyon sırasıyla 4 °C, 2,5 °C veya oda sıcaklığındaki %17 etilendiamin tetraasetik asit (EDTA) ile 10 mL soğuk salin solüsyonu kullanılarak yapılmıştır. VAS skorlarının değerlendirilmesi sonucunda 4 °C ve 2,5 °C grupları arasında ağrı şiddeti veya ağrı süresi bakımından istatistiksel bir fark bulunamamıştır. Bununla birlikte, oda sıcaklığındaki EDTA ile irriye edilen hastalarda postoperatif ağrı düzeylerinin diğer iki soğuk irrigasyon grubuna kıyasla anlamlı derecede daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Vera ve ark. (Vera et al., 2015) tarafından önerilen protokolü temel alan sonraki çalışmalar, vital pulpalı dişlerde tek seansta gerçekleştirilen kök kanal tedavisi sonrası kriyoterapinin postoperatif ağrıyı azaltmada etkili olduğunu desteklemiştir (Al-Nahlawi et al., 2017; Vieyra et al., 2019). Bununla birlikte, geri

dönüşümsüz pulpitis olgularında inflamasyonun pulpa dokusu içinde sınırlı kalması ve periapikal bölgeye yayılmaması nedeniyle, pulpanın uzaklaştırılması hastayı genellikle tek başına rahatlatır. Bu nedenle kriyoterapinin bu tip vakalardaki doğrudan analjezik etkisinin değerlendirilmesi söz konusu çalışmalarla mümkün olmamıştır.

Vera ve ark. (Vera et al., 2018) tarafından yürütülen bir başka araştırmada ise pulpa nekrozu ve semptomatik apikal periodontitis tanısı konan dişlerde kriyoterapi irrigasyonunun postoperatif ağrı sıklığı ve şiddeti üzerindeki etkileri incelenmiştir. Preoperatif VAS skoru 7'nin üzerinde olan toplam 210 tek köklü diş, kanal şekillendirmesi tamamlandıktan sonra rastgele iki gruba ayrılmıştır. Deney grubunda EndoVac sistemi ile 5 dakika süreyle 20 mL 2,5 °C salin çözeltisi kullanılarak son irrigasyon yapılırken, kontrol grubunda oda sıcaklığındaki salin tercih edilmiştir. Postoperatif ağrı düzeyleri, kanal dolumunu takiben 6, 24 ve 72 saat sonra VAS ile değerlendirilmiştir. Bulgular, kriyoterapi uygulanan grupta hem ağrı insidansının hem de ağrı şiddetinin anlamlı şekilde daha düşük olduğunu ortaya koymuştur.

Gürler ve Yılmaz'ın (Gürler & Yılmaz, 2025a) 2025 yılında gerçekleştirdiği randomize kontrollü klinik çalışmada, semptomatik irreversibl pulpitisli mandibular birinci molarlarda kök kanal tedavisi boyunca farklı konsantrasyonlarda (2.5% ve 5%) kriyoterapi uygulanmış sodyum hipoklorit (NaOCl) irrigasyonunun kanal tedavisi sonrası ağrı üzerine etkisi değerlendirilmiş ve toplam 132 hastanın dört gruba ayrıldığı çalışmada, 2°C'ye soğutulmuş NaOCl kullanılan grupların özellikle ilk 6–12 saatlik dönemde anlamlı derecede daha düşük VAS skorları gösterdiği bildirilmiştir; en belirgin ağrı azalması kriyoterapi uygulanmış 2.5% NaOCl grubunda görülmüş, 24. saatten sonra ise tüm gruplar arasında fark

ortadan kalkmıştır. Konsantrasyonun (2.5% vs. 5%) erken dönem ağrı üzerine belirgin bir etkisi olmadığı, analjezik kullanımının ise gruplar arasında farklılaşmadığı belirtilmiş; böylece kriyoterapinin, irrigant konsantrasyonundan bağımsız olarak erken postoperatif ağrıyı azaltmada temel belirleyici faktör olduğu sonucuna varılmıştır.

Bazaid ve ark. (Bazaid & Kenawi, 2018) tarafından yapılan başka bir çalışmada, kriyoterapinin postoperatif ağrı azalımı üzerindeki etkisi, apikal periodontitisi olan ve olmayan geri dönüşümsüz pulpitisli vakalar arasında karşılaştırılmıştır. Geri dönüşümsüz pulpitis tanılı 40 hasta rastgele dağıtılmış ve son irrigasyon sıcaklığına göre iki gruba ayrılmıştır: oda sıcaklığında salin kullanılan kontrol grubu ve soğuk salin kullanılan kriyoterapi grubu. Daha sonra hastalar klinik tanıya göre iki alt gruba ayrılmıştır: apikal periodontitisi olan geri dönüşümsüz pulpitis ve apikal periodontitisi olmayan geri dönüşümsüz pulpitis. Çalışmanın sonuçlarına göre, kriyoterapi uygulaması yalnızca apikal periodontitisli geri dönüşümsüz pulpitis vakalarında postoperatif ağrıyı azaltmıştır; apikal periodontitis bulunmayan geri dönüşümsüz pulpitis vakalarında ise anlamlı bir etkisi gözlenmemiştir (Bazaid & Kenawi, 2018). Bu bulgular, periapikal patolojisi olmayan asemptomatik olgularda kriyoterapinin etkisiz olduğunu bildiren Alharthi ve ark. (Alharthi, Aljoudi, Almaliki, Almalki, & Sunbul, 2019) ile uyumludur. Aynı doğrultuda Jain ve ark. (Jain et al., 2018) da kanal içi kriyoterapiyi özellikle semptomatik geri dönüşümsüz pulpitis ve eşlik eden apikal periodontitis varlığında postoperatif ağrıyı azaltmak için önermiştir.

Yakın dönemde Emad ve ark. (Emad, Abdelsalam, & Fayyad, 2021), semptomatik apikal periodontitisli hastalarda farklı irrigasyon protokollerinin postoperatif ağrı ve interlekin-6 (IL-6)

ekspresyonu üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir. Çalışmada 2–5 mL soğuk irrigasyon solüsyonu kullanılan tüm gruplarda, oda sıcaklığındaki irrigasyon solüsyonu uygulanan gruplara kıyasla anlamlı derecede daha düşük postoperatif ağrı skorları elde edilmiştir. Ayrıca şekillendirme ve temizleme işlemi boyunca 2–5 mL soğuk NaOCl ile irrigasyon yapılan grubun IL-6 düzeylerinin en düşük seviyede olduğu tespit edilmiştir.

Gündoğdu ve Arslan'ın (Gundogdu & Arslan, 2018) randomize prospektif klinik çalışmasında, semptomatik apikal periodontitisli molar dişlerde kök kanal tedavisi sonrası postoperatif ağrı üzerine intrakanal, intraoral ve ekstraoral kriyoterapi uygulamalarının etkileri karşılaştırılmıştır. Çalışmaya dâhil edilen 100 hasta kontrol grubu, intrakanal kriyoterapi (final irrigasyon olarak 2,5 °C soğuk serum fizyolojik), intraoral kriyoterapi (tedavi sonrası vestibüler bölgede intraoral buz uygulaması) ve ekstraoral kriyoterapi (yanak üzerinden buz uygulaması) olmak üzere dört gruba ayrılmıştır. İntrakanal kriyoterapi, kanal içi sıcaklığın düşürölmesi yoluyla periradiküler dokularda inflamasyonun azalmasını hedeflemiş ve tüm takip zamanlarında postoperatif ağrı ve perküsyon hassasiyetini anlamlı şekilde azaltmıştır. İntraoral kriyoterapi, lokal yumuşak dokular üzerinden soğuk uygulaması ile benzer biçimde ağrı skorlarında anlamlı düşüş sağlamış, hasta konforu açısından etkili bir yöntem olarak değerlendirilmiştir. Ekstraoral kriyoterapide kontrol grubuna kıyasla postoperatif ağrıyı azaltmış olmakla birlikte, analjezik kullanımının intraoral gruba göre daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Genel olarak, üç kriyoterapi yaklaşımının da kontrol grubuna kıyasla 1., 3., 5. ve 7. günlerde daha düşük ağrı skorları ile ilişkili olduğu ve endodontik tedavi sonrası ağrı kontrolünde uygulanabilir ve etkili yöntemler sunduğu sonucuna varılmıştır.

Retreatment olgularında intrakanal kriyoterapinin etkinliğini değerlendiren sınırlı sayıdaki çalışma bulunmaktadır. Ghabraei ve ark.(Ghabraei, Afkhami, Kiafar, Kharazifard, & Peters, 2024) tek seans kanal yenileme tedavisinde intrakanal kriyoterapi uygulanan hastalarda kontrol grubuna kıyasla yalnızca 6. saatte istatistiksel olarak anlamlı daha düşük ağrı skoru bildirilmiş, ancak diğer zaman noktalarında anlamlı fark görülmemekle birlikte ağrı seviyelerinin genel olarak düşük seyrettiği belirtilmiştir. Bu bulguları destekleyen Kaya Mumcu ve ark. (Kaya Mumcu, Tuzcu, Kurnaz, & Kiraz, 2025) ise intrakanal kriyoterapi uygulanan hastalarda 6. ve 12. saatlerde ağrının kontrol grubuna kıyasla anlamlı derecede azaldığını, daha sonraki zaman aralıklarında ise gruplar arasında fark kalmadığını ve analjezik kullanımının da benzer olduğunu rapor etmiştir. Her iki çalışma, intrakanal kriyoterapinin kanal yenileme tedavilerinde özellikle erken postoperatif dönemde sınırlı ancak dikkate değer bir analjezik etki sağladığını ortaya koymaktadır

Kriyoterapinin endodonti dışındaki dental uygulamalarda da potansiyel faydalarını ele alan başka bir çalışmada, vital pulpa tedavisinde biyoseramik materyallerle birlikte hemostaz sağlamada kriyoterapinin etkili olabileceği ileri sürülmüştür (Bahcall, Johnson, Xie, Baker, & Weeks, 2019). Bir vaka raporunda doğrudan pulpa kuafajında pulpa kanamasını kontrol etmek amacıyla kriyoterapinin başarıyla uygulandığı bildirilmiştir. Bu olguda steril su buzu (0 °C), ekspoze pulpa dokusuna ve tüm diş yüzeyine bir dakika süreyle uygulanmış; ardından yüksek emişli aspiratör ile pulpa çıkarılarak kök kanalları EDTA ile irrige edilmiştir. Daha sonra ekspoze alan biyoseramik bir materyalle kapatılmış ve kalıcı restorasyon yapılmıştır. Tedavinin ardından iki haftalık takipte diş asemptomatik hâle gelmiş; 12–18 aylık izlem süresi boyunca canlılığını ve fonksiyonunu sürdürmüştür. Gürler ve ark.(Gürler & Yılmaz,

2025b) tarafından yapılan bir başka çalışma, vital pulpa tedavileri sırasında hemostazın ardından uygulanan kısa süreli kriyoterapinin, özellikle semptomatik geri dönüşümsüz pulpitis tanısı konmuş daimi molar dişlerde postoperatif ağrı düzeyini anlamlı şekilde azalttığını göstermiştir. Literatürdeki bu bulgular, kriyoterapinin vital pulpa tedavilerinde biyolojik yanıt modülasyonu açısından dikkat çekici bir potansiyele sahip olduğunu düşündürmektedir. Bununla birlikte, vital pulpa kriyoterapisinin uzun dönem başarısını ve prognoz üzerindeki etkilerini netleştirmek için iyi tasarlanmış ek klinik araştırmalara ihtiyaç duyulduğu vurgulanmaktadır.(Bahcall et al., 2019; Gürler & Yılmaz, 2025b)

Topçuoğlu ve ark. (Topçuoğlu, Arslan, Topçuoğlu, & Demirbuga, 2019) ise preoperatif ağız içi kriyoterapi uygulamasının inferior alveolar sinir bloklarının başarısı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bulgular, ağız içi soğuk uygulamasının özellikle semptomatik geri dönüşümsüz pulpitis olgularında alt alveolar sinir bloğunun etkinliğini artırdığını göstermiştir. Bununla birlikte, derin pulpal anestezi gerektiren birçok durumda ek anestezik yöntemlere ihtiyaç duyulabileceği de belirtilmiştir.

Sonuç

Sonuç olarak, kriyoterapi endodontik tedavi sonrasında ortaya çıkan ağrının önlenmesi veya azaltılmasında önemli bir potansiyele sahip, umut vadeden bir yöntem olarak değerlendirilmektedir. Ancak mevcut literatürdeki çalışma sayısının sınırlı olması, bu yöntemin etkinliği ve klinik uygulama koşullarına ilişkin kanıt düzeyini kısıtlamaktadır. Bu nedenle farklı klinik senaryoları kapsayan, standart protokollerle yürütülen daha kapsamlı araştırmalara ihtiyaç vardır. İlerleyen dönemde, kriyoterapinin etkinliğinin güçlü bilimsel verilerle desteklenmesi

halinde, endodontik ağrı yönetiminde yaygın olarak kabul edilen standart bir tedavi yaklaşımı haline gelmesi mümkün görünmektedir.

Kaynakça/References

- Ahdoot, M., Lebastchi, A. H., Turkbey, B., Wood, B., & Pinto, P. A. (2019). Contemporary treatments in prostate cancer focal therapy. *Current opinion in oncology*, 31(3), 200-206.
- Al-Nahlawi, T., Hatab, T. A., Abd Alrazak, M., & Al-Abdullah, A. (2017). Effect of intracanal cryotherapy and negative irrigation technique on postendodontic pain. *The journal of contemporary dental practice*, 17, 990-996.
- Alharthi, A. A., Aljouidi, M. H., Almaliki, M. N., Almalki, M. A., & Sunbul, M. A. (2019). Effect of intra-canal cryotherapy on post-endodontic pain in single-visit RCT: A randomized controlled trial. *The Saudi dental journal*, 31(3), 330-335.
- Arslan, H., Gundogdu, E. C., & Sumbullu, M. (2016). The Effect of Preoperative Administration of Antihistamine, Analgesic and Placebo on Postoperative Pain in Teeth with Symptomatic Apical Periodontitis: A Randomized Controlled Trial. *Eur Endod J*, 1(1), 1-5.
doi:10.5152/eej.2016.16012
- Attar, S., Bowles, W. R., Baisden, M. K., Hodges, J. S., & McClanahan, S. B. (2008). Evaluation of pretreatment analgesia and endodontic treatment for postoperative endodontic pain. *J Endod*, 34(6), 652-655.
doi:10.1016/j.joen.2008.02.017
- Bahcall, J., Johnson, B., Xie, Q., Baker, M., & Weeks, S. (2019). Introduction to vital pulp cryotherapy. *Endod Pract US*, 1, 14.
- Bazaid, D. S., & Kenawi, L. M. (2018). The effect of intracanal cryotherapy in reducing postoperative pain in patients with irreversible pulpitis: a randomized control trial. *Int J Health Sci Res*, 8(2), 83-88.

- Belitsky, R. B., Odam, S. J., & Hubley-Kozey, C. (1987). Evaluation of the effectiveness of wet ice, dry ice, and cryogenic packs in reducing skin temperature. *Phys Ther*, 67(7), 1080-1084. doi:10.1093/ptj/67.7.1080
- Bleakley, C., & Hopkins, J. (2010). Is it possible to achieve optimal levels of tissue cooling in cryotherapy? *Physical Therapy Reviews*, 15(4), 344-350.
- Doganay Yildiz, E., & Arslan, H. (2018). Effect of Low-level Laser Therapy on Postoperative Pain in Molars with Symptomatic Apical Periodontitis: A Randomized Placebo-controlled Clinical Trial. *J Endod*, 44(11), 1610-1615. doi:10.1016/j.joen.2018.07.002
- Emad, A., Abdelsalam, N., & Fayyad, D. M. (2021). Influence of intracanal cryotherapy on postendodontic pain and interleukin-6 expression using different irrigation protocols: A randomized clinical trial. *Saudi Endodontic Journal*, 11(2), 246-251.
- Ernst, E., & Fialka, V. (1994). Ice freezes pain? A review of the clinical effectiveness of analgesic cold therapy. *Journal of pain and symptom management*, 9(1), 56-59.
- Fayyad, D. M., Abdelsalam, N., & Hashem, N. (2020). Cryotherapy: a new paradigm of treatment in endodontics. *Journal of endodontics*, 46(7), 936-942.
- Fayyad, D. M., Abdelsalam, N., & Hashem, N. (2020). Cryotherapy: A New Paradigm of Treatment in Endodontics. *J Endod*, 46(7), 936-942. doi:10.1016/j.joen.2020.03.019
- Garcia, C., Karri, J., Zacharias, N. A., & Abd-Elseyed, A. (2021). Use of cryotherapy for managing chronic pain: an evidence-based narrative. *Pain and therapy*, 10(1), 81-100.
- Ghabraei, S., Afkhami, F., Kiafar, M. M., Kharazifard, M. J., & Peters, O. A. (2024). Effect of intracanal cryotherapy on post-operative pain in single-visit endodontic retreatment: a randomized clinical trial. *BMC Oral Health*, 24(1), 1539.

- Guerreiro, M. Y. R., Monteiro, L. P. B., de Castro, R. F., Magno, M. B., Maia, L. C., & da Silva Brandao, J. M. (2021). Effect of low-level laser therapy on postoperative endodontic pain: An updated systematic review. *Complement Ther Med*, 57, 102638. doi:10.1016/j.ctim.2020.102638
- Gundogdu, E. C., & Arslan, H. (2018). Effects of various cryotherapy applications on postoperative pain in molar teeth with symptomatic apical periodontitis: a preliminary randomized prospective clinical trial. *Journal of endodontics*, 44(3), 349-354.
- Gürler, K., & Yilmaz, K. (2025a). The effect of cryotreated sodium hypochlorite irrigation at different concentrations on postoperative pain in mandibular first molars with symptomatic irreversible pulpitis: a randomized controlled clinical trial. *BMC Oral Health*.
- Gürler, K., & Yilmaz, K. (2025b). The Effect of novel cryotherapy technique on postoperative pain for pulpotomy in permanent molars with symptomatic irreversible pulpitis: a randomized controlled trial. *Journal of endodontics*.
- Harirforoosh, S., Asghar, W., & Jamali, F. (2013). Adverse effects of nonsteroidal antiinflammatory drugs: an update of gastrointestinal, cardiovascular and renal complications. *J Pharm Pharm Sci*, 16(5), 821-847. doi:10.18433/j3vw2f
- Herrera, E., Sandoval, M. C., Camargo, D. M., & Salvini, T. F. (2010). Motor and sensory nerve conduction are affected differently by ice pack, ice massage, and cold water immersion. *Physical therapy*, 90(4), 581-591.
- Ince, B., Ercan, E., Dalli, M., Dulgergil, C. T., Zorba, Y. O., & Colak, H. (2009). Incidence of postoperative pain after single- and multi-visit endodontic treatment in teeth with vital and non-vital pulp. *Eur J Dent*, 3(4), 273-279.
Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19826598>
- Jain, A., Davis, D., Bahuguna, R., Agrawal, A., Singh, S., Ramachandran, R., & Varghese, A. (2018). Role of

- cryotherapy in reducing postoperative pain in patients with irreversible pulpitis; an in-vivo study. *Int J Dent Med Sci Res*, 2(10), 43-49.
- Kaya Mumcu, A., Tuzcu, E., Kurnaz, S., & Kiraz, G. (2025). Evaluation of the effect of intracanal cryotherapy on postoperative pain after retreatment: a randomized controlled clinical trial. *Clinical Oral Investigations*, 29(7), 355.
- Keskin, C., Özdemir, Ö., Uzun, İ., & Güler, B. (2017). Effect of intracanal cryotherapy on pain after single-visit root canal treatment. *Australian endodontic journal*, 43(2), 83-88.
- Khan, A. A., Maixner, W., & Lim, P. F. (2014). Persistent pain after endodontic therapy. *J Am Dent Assoc*, 145(3), 270-272. doi:10.14219/jada.2013.1
- Kwekkeboom, K. L. (2001). Pain management strategies used by patients with breast and gynecologic cancer with postoperative pain. *Cancer Nursing*, 24(5), 378-386.
- Lande, S., & Templeton, M. (1988). Cryotherapy for TMJ pain. *Journal of the California Dental Association*, 16(12), 30-32.
- Levin, L., Amit, A., & Ashkenazi, M. (2006). Post-operative pain and use of analgesic agents following various dental procedures. *Am J Dent*, 19(4), 245-247. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16939032>
- MacAuley, D. (2001). Do textbooks agree on their advice on ice? *Clinical Journal of Sport Medicine*, 11(2), 67-72.
- Malanga, G. A., Yan, N., & Stark, J. (2015). Mechanisms and efficacy of heat and cold therapies for musculoskeletal injury. *Postgraduate medicine*, 127(1), 57-65.
- McDowell, J. H., McFarland, E. G., & Nalli, B. J. (1994). Use of cryotherapy for orthopaedic patients. *Orthopaedic Nursing*, 13(5), 21-30.
- McLean, D. (1989). The use of cold and superficial heat in the treatment of soft tissue injuries. *British journal of sports medicine*, 23(1), 53.

- Modabber, A., Rana, M., Ghassemi, A., Gerressen, M., Gellrich, N.-C., Hölzle, F., & Rana, M. (2013). Three-dimensional evaluation of postoperative swelling in treatment of zygomatic bone fractures using two different cooling therapy methods: a randomized, observer-blind, prospective study. *Trials*, 14(1), 238.
- Nayeema, S., & Subha, D. (2013). Cryotherapy—a novel treatment modality in oral lesions. *Int J Pharm Pharm Sci*, 5(SUPPL 4), 4-5.
- Nielsen, B. A., & Baumgartner, J. C. (2007). Comparison of the EndoVac system to needle irrigation of root canals. *Journal of endodontics*, 33(5), 611-615.
- Odrich, R., & Kelman, C. D. (1967). Cryotherapy, a new and experimental approach to the treatment of periodontal disease. *Periodontics*, 5(6), 313-317.
- Parirokh, M., Rekabi, A. R., Ashouri, R., Nakhaee, N., Abbott, P. V., & Gorjestani, H. (2013). Effect of occlusal reduction on postoperative pain in teeth with irreversible pulpitis and mild tenderness to percussion. *J Endod*, 39(1), 1-5.
doi:10.1016/j.joen.2012.08.008
- Polycarpou, N., Ng, Y. L., Canavan, D., Moles, D. R., & Gulabivala, K. (2005). Prevalence of persistent pain after endodontic treatment and factors affecting its occurrence in cases with complete radiographic healing. *Int Endod J*, 38(3), 169-178. doi:10.1111/j.1365-2591.2004.00923.x
- Rana, M., Gellrich, N.-C., Ghassemi, A., Gerressen, M., Riediger, D., & Modabber, A. (2011). Three-dimensional evaluation of postoperative swelling after third molar surgery using 2 different cooling therapy methods: a randomized observer-blind prospective study. *Journal of oral and maxillofacial surgery*, 69(8), 2092-2098.
- Ryan, J. L., Jureidini, B., Hodges, J. S., Baisden, M., Swift, J. Q., & Bowles, W. R. (2008). Gender differences in analgesia for endodontic pain. *J Endod*, 34(5), 552-556.
doi:10.1016/j.joen.2008.01.021

- Sahuquillo, J., & Vilalta, A. (2007). Cooling the injured brain: how does moderate hypothermia influence the pathophysiology of traumatic brain injury. *Current pharmaceutical design*, 13(22), 2310-2322.
- Sambroski, W., Stratz, T., & Sobieska, M. (1992). Individual comparison of effectiveness of whole body cold therapy and hot packs therapy in patients with generalized tendomyopathy (fibromyalgia). *Z Rheumatol*, 51(1), 25-31.
- Sathorn, C., Parashos, P., & Messer, H. (2008). The prevalence of postoperative pain and flare-up in single- and multiple-visit endodontic treatment: a systematic review. *Int Endod J*, 41(2), 91-99. doi:10.1111/j.1365-2591.2007.01316.x
- Schoeffel, G. J. (2008). The EndoVac method of endodontic irrigation, part 2--efficacy. *Dentistry today*, 27(1), 82-87.
- Siu, C., & Baumgartner, J. C. (2010). Comparison of the debridement efficacy of the EndoVac irrigation system and conventional needle root canal irrigation in vivo. *Journal of endodontics*, 36(11), 1782-1785.
- Topçuoğlu, H. S., Arslan, H., Topçuoğlu, G., & Demirbuga, S. (2019). The effect of cryotherapy application on the success rate of inferior alveolar nerve block in patients with symptomatic irreversible pulpitis. *Journal of endodontics*, 45(8), 965-969.
- Tupyota, P., Chailertvanitkul, P., Laopaiboon, M., Ngamjarus, C., Abbott, P. V., & Krisanaprakornkit, S. (2018). Supplementary techniques for pain control during root canal treatment of lower posterior teeth with irreversible pulpitis: A systematic review and meta-analysis. *Aust Endod J*, 44(1), 14-25. doi:10.1111/aej.12212
- Vena, D. A., Collie, D., Wu, H., Gibbs, J. L., Broder, H. L., Curro, F. A., . . . Group, P. N. (2014). Prevalence of persistent pain 3 to 5 years post primary root canal therapy and its impact on oral health-related quality of life: PEARL Network findings. *J Endod*, 40(12), 1917-1921. doi:10.1016/j.joen.2014.07.026

- Vera, J., Ochoa, J., Romero, M., Vazquez-Carcano, M., Ramos-Gregorio, C. O., Aguilar, R. R., . . . Arias, A. (2018). Intracanal cryotherapy reduces postoperative pain in teeth with symptomatic apical periodontitis: a randomized multicenter clinical trial. *Journal of endodontics*, 44(1), 4-8.
- Vera, J., Ochoa-Rivera, J., Vazquez-Carcano, M., Romero, M., Arias, A., & Sleiman, P. (2015). Effect of intracanal cryotherapy on reducing root surface temperature. *Journal of endodontics*, 41(11), 1884-1887.
- Vieyra, J., Enriquez, F., Acosta, F., & Guardado, J. (2019). Reduction of postendodontic pain after one-visit root canal treatment using three irrigating regimens with different temperature. *Nigerian journal of clinical practice*, 22(1).
- Watkins, A. A., Johnson, T. V., Shrewsberry, A. B., Nourparvar, P., Madni, T., Watkins, C. J., . . . Staley, C. A. (2014). Ice packs reduce postoperative midline incision pain and narcotic use: a randomized controlled trial. *Journal of the American College of Surgeons*, 219(3), 511-517.
- Xu, T., Tay, F. R., Gutmann, J. L., Fan, B., Fan, W., Huang, Z., & Sun, Q. (2016). Micro-computed tomography assessment of apical accessory canal morphologies. *Journal of endodontics*, 42(5), 798-802.

BÖLÜM 8

EĞRİ KANALLARDA KÖK KANAL DOLGUSU UZAKLAŞTIRMA: FARKLI ŞELATLAYICI AJANLAR, İRRİGASYON AKTİVASYONU VE DENTİN BİYOLOJİK YANITI

Özge BAŞAR¹

Giriş

Kök kanal tedavisinin başarısı, enfekte dokuların uzaklaştırılması ve kanal sisteminin etkili biçimde dezenfekte edilmesine bağlıdır. Buna karşın, primer tedavinin başarısız olduğu olgularda uygulanan retreatment tedavisi hem teknik hem de biyolojik açıdan daha karmaşık bir süreçtir. Retreatment başarısını belirleyen en kritik aşamalardan biri, mevcut kök kanal dolgusunun mümkün olan en yüksek oranda uzaklaştırılmasıdır (Ng, Mann, & Gulabivala, 2008). Eğri kanallar, retreatment sırasında karşılaşılan zorlukların başında gelmektedir. Kanal eğriliği, solüsyonların apikal bölgelere ulaşmasını sınırlamakta, mekanik enstrümantasyonun etkinliğini azaltmakta ve kanal duvarlarında artık materyal kalma riskini artırmaktadır. Bu nedenle, eğri kanallarda kök kanal dolgusu uzaklaştırma süreci yalnızca mekanik yöntemlerle değil, kimyasal irrigasyonun optimize edilmesiyle birlikte ele alınmalıdır (Crozeta et

¹ Uzm. Dt., Turkuaz Dental Klinik, Orcid: 0000-0003-4514-8132

al., 2020). İrrigasyon solüsyonları arasında etilendiamintetraasetik asit (EDTA), smear tabakasının uzaklaştırılmasındaki rolü nedeniyle uzun süredir kullanılmaktadır. Buna ek olarak, EDTA'ya alternatif veya tamamlayıcı bir şelatlayıcı ajan olarak kullanılan etidronik asit (HEDP), daha düşük şelasyon gücü ve dentin yapısı üzerindeki daha sınırlı demineralizasyon etkisi nedeniyle dikkat çekmektedir (Zollinger & ark., 2018: 691). Son yıllarda, EDTA'nın farklı konsantrasyonlarda uygulanmasının ve aktivasyon teknikleriyle desteklenmesinin, yalnızca temizlik etkinliğini değil, dentin biyolojik yanıtını da etkilediği gösterilmiştir. Özellikle dentin matriksinden büyüme faktörlerinin salınımı, periapikal iyileşme ve doku yanıtı açısından yeni bir bakış açısı sunmaktadır (Gonçalves & ark., 2016: 131). Bu bölümde, eğri kanallarda retreatment süreci, şelatlayıcı ajan tercihi, irrigasyon aktivasyonu ve dentin biyolojik yanıtı ekseninde ayrıntılı ve bütüncül bir yaklaşımla tartışılmaktadır.

Eğri Kanallarda Kök Kanal Dolgusu Uzaklaştırmanın Anatomik ve Mekanik Zorlukları

Kök kanal sisteminin anatomik varyasyonları, retreatment sürecinde kanal dolgu materyalinin etkin şekilde uzaklaştırılmasını zorlaştıran en önemli faktörlerden biridir (Ricucci & Siqueira, 2010: 1277). Özellikle eğri kanallar, apikal üçlüde solüsyon akışını sınırlandırmakta ve mekanik aletlerin duvar temasını düzensiz hâle getirmektedir. Kanal eğriliği arttıkça irrigasyon iğnesinin apikal bölgeye güvenli ve yeterli ölçüde yaklaşması güçleşmekte; bu durum solüsyonların apikal bölgede etkili penetrasyonunu ve sirkülasyonunu kısıtlamaktadır. Sonuç olarak, apikal bölgede biyofilm ve gutta-perka artığı kalma riski belirgin şekilde artmaktadır (Fikirli, Altunkaynak, & Kayaoğlu, 2022: 58). Mekanik enstrümantasyon retreatment sırasında kanal dolgu materyalinin büyük bir kısmını uzaklaştırabilse de oval kanallar, isthmuslar, yan kanallar ve belirgin apikal eğrilikler gibi anatomik düzensizlikler çoğu zaman yetersiz şekilde temizlenmektedir. Bu alanlarda kalan

gutta-perka, pat ve smear tabakası, solüsyonların dentin yüzeyiyle doğrudan temasını engelleyerek hem dezenfeksiyon etkinliğini azaltmakta hem de dentinin biyolojik yanıtını olumsuz yönde etkilemektedir (Schirrmeister & ark., 2006: 469). Ayrıca, eğri kanallarda enstrümanların hareketi zorlaşmakta; bu durum kanal duvarlarında düzensiz aşınma, basamak oluşumu ve taşıma riskini artırarak retreatment başarısını daha da sınırlayabilmektedir (Peters, 2004: 559). Bu nedenle, eğri kanallarda kanal dolgusu uzaklaştırma süreci yalnızca mekanik enstrümantasyona dayandırılmaz; mekanik ve kimyasal yaklaşımların birbirini tamamladığı bütüncül bir strateji gerektirir.

Bu stratejinin mekanik bileşeni kapsamında, esnek ve kanal anatomisine uyum sağlayabilen nikel-titanyum sistemlerin kullanımı önem kazanmaktadır. Özellikle XP-endo Shaper, vücut sıcaklığında faz dönüşümü gösteren MaxWire alaşımı sayesinde kanal kesitine adaptasyon sağlayarak oval ve düzensiz kanallarda duvar temasını artırabilmekte ve dolgu materyalinin uzaklaştırılmasına katkı sunmaktadır (Versiani & ark., 2018: 489). Benzer şekilde, Self-Adjusting File (SAF) sistemi, kanala üç boyutlu uyum sağlayan kafes yapısı ve sürekli irrigasyon özelliği ile eğri ve kompleks kanallarda mekanik temasın artırılmasını ve kanal duvarlarının daha homojen şekilde işlenmesini mümkün kılmaktadır. Bu tür anatomik uyum yeteneği yüksek enstrümantasyon sistemlerinin, kimyasal irrigasyon ve aktivasyon teknikleri ile birlikte kullanılması, mekanik erişimin sınırlı olduğu apikal ve lateral bölgelerde kalan dolgu artıkları ve smear tabakasının uzaklaştırılmasını destekleyerek retreatment işleminin genel etkinliğini artırabilir (Metzger & ark., 2010: 679). Uygun solüsyon seçimi, yeterli temas süresi ve aktivasyon teknikleri ile desteklenen kimyasal irrigasyon da kanal anatomisinin oluşturduğu sınırlamaların aşılmasına katkı sağlayarak retreatment işleminin genel etkinliğini artırabilir (Crozeta & ark., 2020: 1279; Rödig ve ark., 2010: 1983). Bu çerçevede EDTA smear

tabakasını uzaklaştırma kapasitesi ve inorganik bileşenler üzerindeki şelatlayıcı etkisi nedeniyle retreatment sürecinde özel bir önem taşımaktadır (Goldman & ark., 1981: 197).

EDTA Kullanımı ve Etki Mekanizması

EDTA uygulaması, mekanik enstrümantasyon sonrasında dentin yüzeyinde kalan smear tabakasını elimine ederek dentin tübüllerinin açılmasını sağlar ve derin penetrasyonu kolaylaştırır. Özellikle eğri kanallarda, mekanik yöntemlerle erişimin sınırlı olduğu apikal ve düzensiz anatomik bölgelerde EDTA'nın kullanımı, dolgu artıkları ve biyofilm kalıntılarının uzaklaştırılmasına anlamlı katkı sunmaktadır (Peters, 2004: 559; Rödig & ark., 2010: 1983). Ayrıca, uygun temas süresi ve aktivasyon teknikleri ile desteklenen EDTA irrigasyonu, yalnızca temizlik etkinliğini artırmakla kalmayıp dentinin biyolojik yanıtını da olumlu yönde etkileyerek retreatment başarısının artırılmasında tamamlayıcı bir rol üstlenmektedir (Gonçalves & ark., 2016: 131).

a. EDTA'nın Kimyasal ve Fizikokimyasal Özellikleri

EDTA, dentindeki kalsiyum iyonlarına bağlanarak inorganik matriksi çözebilen güçlü bir şelatör ajandır. Bu özelliği sayesinde smear tabakasının inorganik bileşenlerini uzaklaştırır ve dentin tübüllerinin açığa çıkmasını sağlar. Bu durum irrigasyon solüsyonlarının daha derin penetrasyonuna olanak tanır ve kanal duvarlarının temizliğini kolaylaştırır (Torabinejad & ark., 2003: 170). EDTA'nın etkisi süre, konsantrasyon ve uygulama şekline bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle klinik uygulamada rastgele kullanım yerine kontrollü ve hedefe yönelik protokoller tercih edilmelidir (Calt & Serper, 2002: 17).

b. Retreatment Prosedürlerinde EDTA Solüsyonunun Kanal Dolgu Materyallerinin Uzaklaştırılmasına Etkisi

Retreatment sürecinde EDTA, kanal dolgu materyallerinin uzaklaştırılmasını çok yönlü mekanizmalar üzerinden etkileyen kritik bir solüsyondur. EDTA'nın temel etkisi, dentinin inorganik bileşenlerini şelasyon yoluyla çözerek peritübüler ve intertübüler dentinin demineralizasyonunu sağlamasıdır (Moon & ark., 2010: 732). Bu demineralizasyon, özellikle rezin esaslı ve epoksi reçine bazlı kanal dolgu patlarının dentin tübüllerine penetrasyonu ile oluşan mikromekanik kilitlenmeyi zayıflatır ve pat-dentin ara yüzeyinin bütünlüğünü bozar (Somma & ark., 2008: 466).

Farklı konsantrasyonlarda EDTA kullanımının retreatment etkinliği üzerinde belirleyici olduğu gösterilmiştir. Düşük konsantrasyonlu EDTA solüsyonları daha sınırlı bir demineralizasyon etkisi oluştururken, yüksek konsantrasyonlar dentin yüzeyinde daha belirgin şelasyon sağlayarak dolgu materyallerinin tutunmasını daha etkin şekilde azaltabilir (Goldman & ark., 1981: 197). Bununla birlikte, yüksek konsantrasyonlarda ve uzun temas sürelerinde EDTA kullanımının dentin mikrosertliğini azaltabileceği ve aşırı demineralizasyona yol açabileceği bildirilmiştir (Almnea, 2025). Bu nedenle, retreatment sırasında EDTA konsantrasyonu ile uygulama süresi arasında dengeli bir yaklaşım benimsenmesi önem taşır. Eğri ve kompleks anatomiye sahip kanallarda, dolgu materyallerinin apikal bölgede ve kanal düzensizliklerinde daha yoğun şekilde birikmesi, mekanik enstrümantasyonun bu alanlara etkin erişimini sınırlar (Rödig & ark., 2010: 1983). Bu durumda EDTA uygulaması, smear tabakasının kaldırılmasıyla birlikte dentin yüzeyini açığa çıkararak diğer solüsyonların ve çözücü ajanların dolgu materyaliyle temasını artırır. Ayrıca EDTA'nın yüzey pürüzlülüğünü modifiye etmesi, kanal duvarlarına tutunan sealer artıklarının mekanik kuvvetlere karşı direncini azaltır (Urban & ark., 2017: 2681).

Literatürde, EDTA'nın özellikle solüsyon aktivasyon teknikleri (sonik ve ultrasonik) ile birlikte kullanıldığında, kanal

dolgu maddelerinin uzaklaştırılma etkinliğini belirgin şekilde artırdığı bildirilmektedir (Düzgün & ark., 2023: 339; Kfir & ark., 2012: 35; Zhou, Liu, & Guo, 2021: 294). Aktivasyonla birlikte artan hidrodinamik akış, EDTA'nın kanal duvarlarına ve eğri kanalların apikal segmentlerine daha etkin şekilde ulaşmasını sağlar; bu da dolgu materyallerinin yumuşatılması, ara yüzey bağlarının zayıflatılması ve artıkların kanal dışına taşınmasını kolaylaştırır (Düzgün & ark., 2023: 339). Sonuç olarak, EDTA'nın retreatment sırasında uygun konsantrasyon, temas süresi ve aktivasyon protokolleriyle kullanılması, özellikle eğri kanallarda mekanik ve kimyasal yaklaşımlar arasında sinerjik bir etki oluşturarak retreatment başarısına anlamlı katkı sağlar (Sağlam & ark., 2014: 76).

c. Farklı Şelatlayıcı Ajanların Dentin Etkileri

Kök kanal irrigasyonunda kullanılan şelatlayıcı ajanlar, dentin yüzeyinde oluşturdukları kimyasal etkileşim mekanizmalarına bağlı olarak farklı biyokimyasal ve yapısal değişikliklere yol açmaktadır. En yaygın kullanılan şelatlayıcı ajan olan EDTA, dentindeki kalsiyum iyonlarına bağlanarak inorganik matriksi çözmekte ve smear tabakasının uzaklaştırılmasını sağlamaktadır. Bu etki sonucunda dentin tübülleri açığa çıkmakta ve irrigasyon solüsyonlarının dentin matriksine penetrasyonu kolaylaşmaktadır (De-Deus & ark., 2008: 703; Niu & ark., 2002: 934). Bununla birlikte, yüksek konsantrasyonlarda ve uzun temas süreleriyle uygulanan EDTA'nın, peritübüler ve intertübüler dentin yapısında aşırı mineral kaybına yol açabildiği ve dentin mikrosertliğinde anlamlı azalmalarla ilişkili olduğu bildirilmiştir. Aşırı demineralizasyonun, kolajen fibrillerin açığa çıkmasına ve zamanla kolajen matriks bütünlüğünün bozulmasına neden olabileceği; bu durumun da dentinin mekanik dayanımını ve sızdırmazlık özelliklerini olumsuz yönde etkileyebileceği vurgulanmaktadır (Zaccaroscelza, Antoniazzi, & Scelza, 2000: 355).

EDTA'ya alternatif olarak kullanılan sitrik asit ve fosforik asit gibi ajanların yanı sıra, son yıllarda etidronik asit 1-hidroksietiliden-1,1-difosfonat; HEDP de dentin üzerindeki daha kontrollü ve yumuşak şelatlayıcı etkisi nedeniyle dikkat çekmektedir. HEDP'nin kalsiyum iyonlarına olan bağlanma kapasitesi EDTA'ya kıyasla daha düşük olmakla birlikte, bu özelliği sayesinde dentin mikrosertliği ve kollajen matriks bütünlüğü üzerinde daha sınırlı olumsuz etki oluşturduğu bildirilmiştir (Lottanti & ark., 2009: 335). Ayrıca HEDP'nin sodyum hipoklorit ile aynı anda kullanılabilmesi, irrigasyon protokollerinde sürekli şelasyon yaklaşımına olanak tanıyarak klinik uygulamada önemli bir avantaj sunmaktadır (Tartari & ark., 2015: 399).

Son yıllarda yapılan çalışmalar, şelatlayıcı ajanların yalnızca smear tabakasının uzaklaştırılması ve yüzey temizliği açısından değil, aynı zamanda dentinin biyolojik yanıtı açısından da kritik bir belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. EDTA ile kontrollü demineralizasyonun, dentin matriksine bağlı büyüme faktörlerinin (örneğin TGF- β ve BMP'ler) salınımını modüle edebileceği ve bu biyolojik etkinin periapikal iyileşme sürecini etkileyebileceği öne sürülmektedir (Gonçalves & ark., 2016: 131). Ancak, bu etkinin konsantrasyon ve temas süresine duyarlı olduğu; aşırı demineralizasyonun biyolojik avantaj yerine olumsuz bir doku yanıtına yol açabileceği belirtilmektedir (Galler & ark., 2015: 363). Bununla birlikte, irrigasyon etkinliğini belirleyen temel faktörlerden biri de şelatlayıcı ajanın uygulanma şeklidir. Uygun konsantrasyonda kullanılmalarının yanı sıra, kontrollü temas süresi ve solüsyon aktivasyon teknikleriyle desteklenmesi, çözünmüş smear tabakası ve artıkların özellikle anatomik olarak erişimi kısıtlı bölgelerden uzaklaştırılmasında kritik rol oynamaktadır. Bu bütüncül yaklaşım, dentin yüzeyinde aşırı demineralizasyon riskini azaltırken retreatment işleminin klinik etkinliğini artırabilir (Gu & ark., 2009: 791).

İrrigasyon Aktivasyon Teknikleri ve Eğri Kanallardaki Önemi

İrrigasyon aktivasyonu, solüsyonların kanal içindeki hidrodinamik davranışını değiştirmeyi amaçlayan yöntemleri kapsamaktadır. Bu teknikler, solüsyonların kanal duvarlarıyla temas süresini artırarak, özellikle eğri ve kompleks anatomiye sahip kanallarda etkinliği artırır (Urban & ark., 2017: 2681). Eğri kanallarda, kanal eğriliğinin solüsyon akışını laminar hâle getirmesi ve apikal bölgede türbülanslı sınırlaması nedeniyle penetrasyon ve yenilenmesi belirgin şekilde azalır. Bu durum, özellikle apikal eğrilik, isthmus ve düzensiz anatomik alanlarda irrigasyon etkinliğini kısıtlayarak artık doku ve dolgu materyali kalma riskini artırır; dolayısıyla irrigasyon aktivasyon teknikleri, eğri kanallarda hidrodinamik sınırlamaların aşılmasında daha kritik bir rol üstlenir (Gu & ark., 2009: 791).

1. Manuel Dinamik Aktivasyon

Manuel dinamik aktivasyon, solüsyonun kanal içerisinde ileri-geri hareket ettirilmesiyle basit bir hidrodinamik etki oluşturur. Her ne kadar uygulanması kolay olsa da etkinliği büyük ölçüde operatör deneyimine bağlıdır ve standartlaştırılması zordur (McGill & ark., 2008: 602).

2. Sonik Aktivasyon Sistemleri

Sonik aktivasyon sistemleri, solüsyonu düşük frekanslı titreşimlerle hareketlendirerek kanal içinde daha homojen bir akış sağlar. Eğri kanallarda penetrasyonu artırabilmekle birlikte, oluşturulan enerji düzeyi sınırlıdır (Jiang & ark., 2010: 143).

3. Ultrasonik Aktivasyon

Ultrasonik aktivasyon, solüsyon etkinliğini artırmada en güçlü yöntemlerden biri olarak kabul edilmektedir. Akustik mikroyakım ve kavitasyon etkileri sayesinde smear tabakasının uzaklaştırılmasını destekler ve EDTA'nın dentin yüzeyiyle

etkileşimini artırır. Eğri kanallarda özellikle apikal bölgelerde belirgin avantaj sağlar (Van Der Sluis & ark., 2007: 415).

4. Negatif Basınç Sistemleri

Negatif basınç sistemleri, solüsyonların apikal bölgeye güvenli şekilde taşınmasını sağlarken ekstrüzyon riskini azaltır. Bu özellik, eğri kanallarda kontrollü irrigasyon açısından önemli bir avantaj sunar (Desai & Himel, 2009: 545).

5. Lazer Destekli Aktivasyon Sistemleri

Lazer destekli aktivasyon sistemleri, özellikle erbiyum lazer teknolojisine dayanan Photon-Induced Photoacoustic Streaming (PIPS) ve Shock Wave-Enhanced Emission Photoacoustic Streaming (SWEEPS) teknikleri ile son yıllarda dikkat çekmektedir. Bu yöntemler, solüsyonu doğrudan kanala iletmek yerine, lazer enerjisinin sıvı içinde oluşturduğu fotoakustik şok dalgaları aracılığıyla güçlü bir hidrodinamik akım meydana getirir (Peters & ark., 2011: 1008). PIPS ve SWEEPS sistemleri, solüsyonun kanal boyunca ve lateral anatomik yapılara daha etkin şekilde dağılmasını sağlayarak isthmuslar, yan kanallar ve apikal düzensizlikler gibi erişimi zor bölgelerde temizlik etkinliğini artırmaktadır (De Moor & ark., 2010: 1580). Özellikle eğri kanallarda, lazer fiberinin kanal içine iletilmesine gerek olmaması, bu sistemleri mekanik temas riskini azaltan ve apikal bölgede güvenli irrigasyonu destekleyen yöntemler hâline getirmektedir. Ayrıca, EDTA ile kullanıldığında smear tabakasının uzaklaştırılmasını ve dentin yüzeyiyle solüsyon etkileşimini artırabileceği bildirilmektedir (Mancini & ark., 2013: 1456; Ordinola-Zapata & ark., 2014: 659; Peters & ark., 2011: 1008).

Dentin Biyolojik Yanıtı ve Büyüme Faktörü Salınımı

Dentin, yalnızca mineralize bir destek dokusu değil, aynı zamanda büyüme faktörleri açısından zengin bir biyolojik matrikstir.

TGF- β , BMP'ler ve diğerk sinyal molekülleri dentin matriksinde bağılı halde bulunur ve uygun koşullarda serbestleşebilir (Smith & ark., 1994: 13). şelasyon ile gerçekleştirilen demineralizasyon, dentin matriksine bağılı büyüme faktörlerinin salınımını tetikleyebilir. Farklı konsantrasyonlar ve aktivasyon teknikleri, bu salınımın miktarını ve biyolojik etkisini değıştirebilir. Bu biyolojik etkiler, periapikal iyileşme ve doku rejenerasyonu açısından klinik olarak fayda sağılayabilir (Galler & ark., 2016: 581; Galler & ark., 2015: 363).

Sonuc ve Gelecek Perspektifler

Eğri kanallarda kök kanal dolgusu uzaklaştırılması, yalnızca mekanik enstrümantasyon ile yönetilemeyecek karmaşık bir süreçtir. Kanal eğriliğı, apikal düzensizlikler, isthmuslar ve lateral anatomik yapılar mekanik erişimi sınırlayarak dolgu artıkları, smear tabakası ve biyofilm kalıntılarının kalıcılığına zemin hazırlamaktadır. Bu bağlamda, retreatment başarısının artırılması için mekanik, kimyasal ve biyolojik bileşenlerin bir arada değıerlendirildiğı bütüncül bir yaklaşım zorunlu hâle gelmektedir.(Ng & ark., 2008: 1026) Bu bölümde ele alınan bulgular, özellikle şelatlayıcı ajan seçimi ve irrigasyon aktivasyonunun, eğri kanallarda dolgu uzaklaştırma etkinliğini belirleyen kritik faktörler olduğunu ortaya koymaktadır. Yüksek konsantrasyonlarda ve uzun süreli uygulamalarda görülebilen aşırı demineralizasyon ve mikrosertlik kaybı, klinik açıdan dikkatli ve kontrollü protokollerin gerekliliğini vurgulamaktadır (De-Deus & ark., 2008: 703; Urban & ark., 2017: 2681). Bu nedenle, bu ajanların “maksimum etki” yerine “optimal etki” prensibiyle kullanılması, eğri kanallarda hem dolgu uzaklaştırma etkinliğini hem de dentin bütünlüğünü korumak açısından daha rasyonel bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Son yıllarda   ne çıkan bir diğerk önemli boyut ise dentinin biyolojik yanıtıdır. EDTA ve benzeri şelatlayıcı ajanlarla gerçekleştirilen kontrollü demineralizasyonun, dentin matriksine bağılı büyüme

faktörlerinin salınımını tetikleyebileceği ve periapikal iyileşme süreçlerini modüle edebileceği gösterilmiştir. Bu bulgular, retreatment sürecinin yalnızca “temizleme” odaklı değil, aynı zamanda doku iyileşmesini destekleyici bir biyolojik süreç olarak da ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. (Galler & ark., 2015: 363; Zaccaroscenza & ark., 2000: 355).

Sonuç olarak, eğri kanallarda kök kanal dolgusu uzaklaştırılması; uygun enstrümantasyon sistemleri, dengeli şelatlayıcı ajan kullanımı, etkili irrigasyon aktivasyonu ve dentin biyolojik yanıtının birlikte değerlendirildiği çok boyutlu bir yaklaşım gerektirmektedir. Gelecekte yapılacak iyi tasarlanmış klinik çalışmaların; farklı şelatlayıcı ajanların konsantrasyon–zaman ilişkisini, aktivasyon teknikleriyle olan etkileşimini ve uzun dönem biyolojik sonuçlarını bütüncül biçimde ortaya koyması beklenmektedir. Bu tür veriler, eğri kanallarda retreatment protokollerinin daha öngörülebilir, güvenli ve biyolojik açıdan uyumlu hâle getirilmesine önemli katkılar sağlayacaktır.

Kaynakça

- Almnea, R. A. (2025). Dual-Action Experimental Solvent Achieves Effective Removal of Aged Gutta-Percha and Bioceramic Sealer From Root Canals: A Micro-CT Evaluation. *Australian Endodontic Journal*. <https://doi.org/10.1111/aej.12977>
- Calt, S., & Serper, A. (2002). Time-Dependent Effects of EDTA on Dentin Structures. *Journal of Endodontics*, 28(1), 17–19. <https://doi.org/10.1097/00004770-200201000-00004>
- Crozeta, B. M., Chaves de Souza, L., Correa Silva-Sousa, Y. T., Sousa-Neto, M. D., Jaramillo, D. E., & Silva, R. M. (2020). Evaluation of Passive Ultrasonic Irrigation and GentleWave System as Adjuvants in Endodontic Retreatment. *Journal of Endodontics*, 46(9), 1279–1285. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2020.06.001>
- De Moor, R. J. G., Meire, M., Goharkhay, K., Moritz, A., & Vanobbergen, J. (2010). Efficacy of Ultrasonic versus Laser-activated Irrigation to Remove Artificially Placed Dentin Debris Plugs. *Journal of Endodontics*, 36(9), 1580–1583. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.06.007>
- De-Deus, G., Namen, F., Galan, J., & Zehnder, M. (2008). Soft Chelating Irrigation Protocol Optimizes Bonding Quality of Resilon/Epiphany Root Fillings. *Journal of Endodontics*, 34(6), 703–705. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.02.024>
- Desai, P., & Himel, V. (2009). Comparative Safety of Various Intracanal Irrigation Systems. *Journal of Endodontics*, 35(4), 545–549. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.01.011>
- Düzgün, S., Topçuoğlu, H. S., Kahraman, Ö., & Eminsoy, A. T. (2023). Efficacy of different irrigation agitation systems in

- the removal of root canal sealers from artificial standardised grooves. *Australian Endodontic Journal*, 49(S1), 339–344. <https://doi.org/10.1111/aej.12741>
- Galler, K. M., Widbiller, M., Buchalla, W., Eidt, A., Hiller, K. - A., Hoffer, P. C., & Schmalz, G. (2016). EDTA conditioning of dentine promotes adhesion, migration and differentiation of dental pulp stem cells. *International Endodontic Journal*, 49(6), 581–590. <https://doi.org/10.1111/iej.12492>
- Galler, Kerstin M., Buchalla, W., Hiller, K.-A., Federlin, M., Eidt, A., Schiefersteiner, M., & Schmalz, G. (2015). Influence of Root Canal Disinfectants on Growth Factor Release from Dentin. *Journal of Endodontics*, 41(3), 363–368. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2014.11.021>
- Goldman, L. B., Goldman, M., Kronman, J. H., & Lin, P. S. (1981). The efficacy of several irrigating solutions for endodontics: A scanning electron microscopic study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 52(2), 197–204. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(81\)90319-4](https://doi.org/10.1016/0030-4220(81)90319-4)
- Gonçalves, L. F., Fernandes, A. P., Cosme-Silva, L., Colombo, F. A., Martins, N. S., Oliveira, T. M., Sakai, V. T. (2016). Effect of EDTA on TGF- β 1 released from the dentin matrix and its influence on dental pulp stem cell migration. *Brazilian Oral Research*, 30(1). <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2016.vol30.0131>
- Gu, L., Kim, J. R., Ling, J., Choi, K. K., Pashley, D. H., & Tay, F. R. (2009). Review of Contemporary Irrigant Agitation Techniques and Devices. *Journal of Endodontics*, 35(6), 791–804. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.03.010>
- Jiang, L.-M., Verhaagen, B., Versluis, M., & van der Sluis, L. W. M. (2010). Evaluation of a Sonic Device Designed to

- Activate Irrigant in the Root Canal. *Journal of Endodontics*, 36(1), 143–146. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.06.009>
- Kfir, A., Tsisis, I., Yakirevich, E., Matalon, S., & Abramovitz, I. (2012). The efficacy of five techniques for removing root filling material: microscopic versus radiographic evaluation. *International Endodontic Journal*, 45(1), 35–41. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2011.01944.x>
- Lottanti, S., Gautschi, H., Sener, B., & Zehnder, M. (2009). Effects of ethylenediaminetetraacetic, etidronic and peracetic acid irrigation on human root dentine and the smear layer. *International Endodontic Journal*, 42(4), 335–343. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2008.01514.x>
- Mancini, M., Cerroni, L., Iorio, L., Armellin, E., Conte, G., & Cianconi, L. (2013). Smear Layer Removal and Canal Cleanliness Using Different Irrigation Systems (EndoActivator, EndoVac, and Passive Ultrasonic Irrigation): Field Emission Scanning Electron Microscopic Evaluation in an In Vitro Study. *Journal of Endodontics*, 39(11), 1456–1460. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.07.028>
- McGill, S., Gulabivala, K., Mordan, N., & Ng, Y. -L. (2008). The efficacy of dynamic irrigation using a commercially available system (RinsEndo ®) determined by removal of a collagen ‘bio-molecular film’ from an *ex vivo* model. *International Endodontic Journal*, 41(7), 602–608. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2008.01408.x>
- Metzger, Z., Teperovich, E., Zary, R., Cohen, R., & Hof, R. (2010). The Self-adjusting File (SAF). Part 1: Respecting the Root Canal Anatomy—A New Concept of Endodontic Files and Its Implementation. *Journal of Endodontics*, 36(4), 679–690. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.12.036>

- Moon, Y.-M., Shon, W.-J., Baek, S.-H., Bae, K.-S., Kum, K.-Y., & Lee, W. (2010). Effect of Final Irrigation Regimen on Sealer Penetration in Curved Root Canals. *Journal of Endodontics*, 36(4), 732–736.**
<https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.12.006>
- Ng, Y. -L., Mann, V., & Gulabivala, K. (2008). Outcome of secondary root canal treatment: a systematic review of the literature. *International Endodontic Journal*, 41(12), 1026–1046.** <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2008.01484.x>
- Niu, W., Yoshioka, T., Kobayashi, C., & Suda, H. (2002). A scanning electron microscopic study of dentinal erosion by final irrigation with EDTA and NaOCl solutions. *International Endodontic Journal*, 35(11), 934–939.**
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2002.00594.x>
- Ordinola-Zapata, R., Bramante, C. M., Aprecio, R. M., Handysides, R., & Jaramillo, D. E. (2014). Biofilm removal by 6% sodium hypochlorite activated by different irrigation techniques. *International Endodontic Journal*, 47(7), 659–666.** <https://doi.org/10.1111/iej.12202>
- Peters, O. (2004). Current Challenges and Concepts in the Preparation of Root Canal Systems: A Review. *Journal of Endodontics*, 30(8), 559–567.**
<https://doi.org/10.1097/01.DON.0000129039.59003.9D>
- Peters, O. A., Bardsley, S., Fong, J., Pandher, G., & DiVito, E. (2011). Disinfection of Root Canals with Photon-initiated Photoacoustic Streaming. *Journal of Endodontics*, 37(7), 1008–1012.** <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.03.016>
- Ricucci, D., & Siqueira, J. F. (2010). Biofilms and Apical Periodontitis: Study of Prevalence and Association with Clinical and Histopathologic Findings. *Journal of***

- Rödig, T., Döllmann, S., Konietschke, F., Drebenstedt, S., & Hülsmann, M. (2010). Effectiveness of Different Irrigant Agitation Techniques on Debris and Smear Layer Removal in Curved Root Canals: A Scanning Electron Microscopy Study. *Journal of Endodontics*, 36(12), 1983–1987. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.08.056>
- Sağlam, B. C., Koçak, M. M., Türker, S. A., & Koçak, S. (2014). Efficacy of different solvents in removing gutta-percha from curved root canals: A micro-computed tomography study. *Australian Endodontic Journal*, 40(2), 76–80. <https://doi.org/10.1111/aej.12041>
- Schirrmeister, J. F., Wrbas, K.-T., Meyer, K. M., Altenburger, M. J., & Hellwig, E. (2006). Efficacy of Different Rotary Instruments for Gutta-Percha Removal in Root Canal Retreatment. *Journal of Endodontics*, 32(5), 469–472. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2005.10.052>
- Serçe, B., Altunkaynak, B., & Kayaoğlu, G. (2022). Effect of root canal geometry and needle type on apical extrusion of irrigant: an ex vivo study. *Acta Odontologica Turcica*, 39(3), 58–63. <https://doi.org/10.17214/gaziaot.945129>
- Smith, A. J., Tobias, R. S., Cassidy, N., Plant, C. G., Browne, R. M., Begue-Kirn, C., Lesot, H. (1994). Odontoblast stimulation in ferrets by dentine matrix components. *Archives of Oral Biology*, 39(1), 13–22. [https://doi.org/10.1016/0003-9969\(94\)90029-9](https://doi.org/10.1016/0003-9969(94)90029-9)
- Somma, F., Cammarota, G., Plotino, G., Grande, N. M., & Pameijer, C. H. (2008). The Effectiveness of Manual and Mechanical Instrumentation for the Retreatment of Three

- Different Root Canal Filling Materials. *Journal of Endodontics*, 34(4), 466–469.
<https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.02.008>
- Tartari, T., Guimarães, B. M., Amoras, L. S., Duarte, M. A. H., Silva e Souza, P. A. R., & Bramante, C. M. (2015). Etidronate causes minimal changes in the ability of sodium hypochlorite to dissolve organic matter. *International Endodontic Journal*, 48(4), 399–404.
<https://doi.org/10.1111/iej.12329>
- Torabinejad, M., Khademi, A., Babagoli, J., Cho, Y., Johnson, W., Bozhilov, K., Shabahang, S. (2003). A New Solution for the Removal of the Smear Layer. *Journal of Endodontics*, 29(3), 170–175. <https://doi.org/10.1097/00004770-200303000-00002>
- Urban, K., Donnermeyer, D., Schäfer, E., & Bürklein, S. (2017). Canal cleanliness using different irrigation activation systems: a SEM evaluation. *Clinical Oral Investigations*, 21(9), 2681–2687. <https://doi.org/10.1007/s00784-017-2070-x>
- Van Der Sluis, L. W. M., Versluis, M., Wu, M. K., & Wesselink, P. R. (2007). Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *International Endodontic Journal*, 40(6), 415–426. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2007.01243.x>
- Versiani, M. A., Carvalho, K. K. T., Mazzi-Chaves, J. F., & Sousa-Neto, M. D. (2018). Micro-computed Tomographic Evaluation of the Shaping Ability of XP-endo Shaper, iRaCe, and EdgeFile Systems in Long Oval-shaped Canals. *Journal of Endodontics*, 44(3), 489–495.
<https://doi.org/10.1016/j.joen.2017.09.008>

- Zaccaroscelza, M., Antoniazzi, J., & Scelza, P. (2000). Efficacy of Final Irrigation—A Scanning Electron Microscopic Evaluation. *Journal of Endodontics*, 26(6), 355–358. <https://doi.org/10.1097/00004770-200006000-00011>**
- Zhou, J., Liu, T., & Guo, L. (2021). Effectiveness of XP-Endo Finisher and passive ultrasonic irrigation on intracanal medicament removal from root canals: a systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health*, 21(1), 294. <https://doi.org/10.1186/s12903-021-01644-7>**
- Zollinger, A., Mohn, D., Zeltner, M., & Zehnder, M. (2018). Short-term storage stability of NaOCl solutions when combined with Dual Rinse HEDP. *International Endodontic Journal*, 51(6), 691–696. <https://doi.org/10.1111/iej.12875>**

BÖLÜM 9

ENDODONTİDE GÜNCEL İRRİGASYON YAKLAŞIMLARI: NANOTEKNOLOJİ TABANLI İRRİGASYON AJANLARI VE KLİNİK POTANSİYELLERİ

1. GİZEM AKIN TARTUK¹

Giriş

Endodontik tedavinin başarısı, kök kanal sisteminin mikroorganizmalar, enfekte doku kalıntıları ve organik–inorganik debrislerden etkin biçimde arındırılmasına bağlıdır. Kök kanal anatomisinin oldukça karmaşık ve düzensiz bir yapı sergilemesi; lateral kanallar, isthmuslar, apikal deltalar ve dentin tübülleri gibi alanların varlığı nedeniyle yalnızca mekanik şekillendirme işlemleriyle yeterli dezenfeksiyon sağlanamamaktadır. Bu nedenle irrigasyon, mekanik preparasyonun sınırlılıklarını tamamlayan temel bir biyolojik aşama olarak endodontik tedavinin ayrılmaz bir parçası konumundadır (Haapasalo & ark., 2010).

Mekanik enstrümantasyon sırasında kanal duvarlarının yalnızca belirli bir kısmına temas edilebilmekte, özellikle apikal bölgede ve

¹ Dr.Öğr. Üyesi, Dicle Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, Orcid: 0000-0003-1979-9724

kompleks anatomik alanlarda mikroorganizma varlığı devam edebilmektedir. İrrigasyon solüsyonları, bu ulaşılması güç bölgelerde etkili olarak bakteriyel yükün azaltılmasını, nekrotik dokuların çözülmesini ve kanal duvarlarında oluşan smear tabakasının uzaklaştırılmasını sağlar. Bu yönüyle irrigasyon, kök kanal sisteminin biyolojik temizliğinde merkezi bir rol üstlenmektedir (Zehnder, 2006).

Endodontik enfeksiyonların doğası incelendiğinde, bu enfeksiyonların çoğunlukla biyofilm organizasyonu gösteren mikroorganizmalarla ilişkili olduğu görülmektedir. Biyofilmler, hücre dışı matriks yapıları sayesinde antimikrobiyal ajanlara karşı artmış direnç gösterirken, dentin tübüllerine derinlemesine penetre olabilmeye özellikleri nedeniyle endodontik tedavinin başarısını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu bağlamda irrigasyon ajanlarının biyofilm yapısını bozabilme ve mikroorganizmaları inaktive edebilme kapasitesi, tedavi sonuçları açısından belirleyici bir faktör olarak kabul edilmektedir (de Paz, 2007).

Klinik uygulamalarda yaygın olarak kullanılan sodyum hipoklorit (NaOCl), etilendiamintetraasetik asit (EDTA) ve klorheksidin (CHX) gibi geleneksel irrigasyon ajanları; güçlü antimikrobiyal etkileri ve doku çözme özellikleri nedeniyle uzun yıllardır endodontide tercih edilmektedir. Bununla birlikte bu ajanların sitotoksik potansiyelleri, dentin yapısı üzerindeki olası olumsuz etkileri ve özellikle dirençli biyofilm yapılarının eliminasyonundaki sınırlılıkları, ideal bir irrigasyon ajanı tanımını tam olarak karşılayamadıklarını göstermektedir (Gulabivala & ark., 2005). Bu durum, daha etkin, biyoyumlu ve hedefe yönelik irrigasyon yaklaşımlarına duyulan gereksinimi gündeme getirmiştir.

İrrigasyon, yalnızca yardımcı bir prosedür olarak değil; endodontik tedavinin biyolojik başarısını doğrudan etkileyen temel bir unsur olarak değerlendirilmelidir. Güncel literatür, irrigasyonun etkinliğini

artırmaya yönelik yeni ajanlar ve uygulama stratejilerinin geliştirilmesinin, endodontik tedavinin uzun dönem başarısında kritik bir rol oynadığını ortaya koymaktadır (Haapasalo & ark., 2014).

Kök Kanal İrrigasyonunun Biyolojik ve Kimyasal Temelleri

Antimikrobiyal etkinlik

Kök kanal irrigasyonunun antimikrobiyal etkinliği, endodontik tedavinin biyolojik başarısını belirleyen temel faktörlerden biridir. Güncel literatür, kök kanal enfeksiyonlarının büyük ölçüde biyofilm organizasyonu gösteren mikroorganizmalarla ilişkili olduğunu ve bu yapıların mekanik preparasyonla tamamen elimine edilemediğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle irrigasyon ajanlarının antimikrobiyal kapasitesi, yalnızca planktonik bakterilere karşı etkinlikleriyle değil; aynı zamanda biyofilm yapısını bozabilme, dentin tübüllerine penetre olabilme ve yeterli temas süresini koruyabilme özellikleriyle değerlendirilmelidir (Cheung, Lee, & Cheung, 2021).

Son beş yıl içerisinde yayımlanan sistematik derlemeler ve deneysel çalışmalar, sodyum hipoklorit (NaOCl)'nin hâlen kök kanal irrigasyonunda altın standart antimikrobiyal ajan olarak kabul edildiğini göstermektedir. NaOCl'nin mikroorganizmalar üzerindeki etkisi, protein denatürasyonu ve oksidatif hasar mekanizmaları yoluyla gerçekleşmekte; bu etki ajan konsantrasyonu ve temas süresi ile doğrudan ilişki göstermektedir. Güncel deneysel veriler, düşük konsantrasyonlu NaOCl çözeltilerinin dahi yeterli temas süresi sağlandığında anlamlı bakteri azalımı oluşturabildiğini, ancak yüksek konsantrasyonların daha hızlı ve güçlü antimikrobiyal etki sağladığını bildirmektedir (Maezono & ark., 2024).

Bununla birlikte, kök kanal dezenfeksiyonunun yalnızca irrigasyon ajanının kimyasal özelliklerine bağlı olmadığı; irrigasyonun dinamik uygulanışının da antimikrobiyal etkinlik

üzerinde belirleyici olduğu vurgulanmaktadır. Son dönem çalışmalar, irrigasyon ajanının kanal içinde belirli aralıklarla yenilenmesi ve temas süresinin uzatılmasının, bakteriyel canlılığı anlamlı düzeyde azalttığını ortaya koymuştur (da Silva & ark., 2025). Bu bulgular, irrigasyonun pasif bir işlem olarak değil, kontrollü ve protokole dayalı bir biyolojik müdahale olarak ele alınması gerektiğini desteklemektedir.

Aktivasyon tekniklerinin antimikrobiyal etkinlik üzerindeki rolü de güncel literatürde geniş yer bulmaktadır. Özellikle pasif ultrasonik irrigasyon ve lazer-aktif irrigasyon gibi yöntemlerin, irrigasyon ajanının kök kanal sistemindeki hidrodinamik dağılımını artırarak biyofilm penetrasyonunu iyileştirdiği bildirilmiştir. Son yıllarda yayımlanan derlemeler, bu aktivasyon yöntemlerinin konvansiyonel irrigasyon protokollerine kıyasla daha yüksek mikrobiyal azaltım sağlayabildiğini, ancak klinik sonuçlar açısından standardizasyon ihtiyacının devam ettiğini göstermektedir (Cheung & ark., 2021; Meire & De Moor, 2024).

Ayrıca irrigasyon ajanlarının fiziksel özelliklerinin modifiye edilmesine yönelik yaklaşımlar da antimikrobiyal etkinliği artırmayı hedeflemektedir. Özellikle NaOCl'nin intrakanal ısıtılması, kimyasal reaksiyon hızını artırarak bakterisidal etkinliği güçlendiren bir yöntem olarak güncel çalışmalarda tartışılmaktadır. Bu yaklaşımın, düşük konsantrasyonlarda dahi daha etkili bir antimikrobiyal yanıt sağlayabileceği bildirilmektedir (Abdellatif & ark., 2025).

Genel olarak değerlendirildiğinde, güncel bilimsel kanıtlar kök kanal irrigasyonunda antimikrobiyal etkinliğin; ajan seçimi, konsantrasyon, temas süresi, irrigantın yenilenmesi, aktivasyon yöntemleri ve fiziksel modifikasyonlar gibi çok sayıda parametrenin birlikte optimize edilmesiyle maksimize edilebileceğini ortaya koymaktadır. Bu çok faktörlü yaklaşım, irrigasyonu endodontik tedavinin yalnızca tamamlayıcı bir aşaması

olmaktan çıkararak, tedavi başarısının merkezine yerleştirmektedir (Orozco-Gallego & ark.,; Ruksakiet & ark., 2020)

Smear Tabakasının Uzaklaştırılması

Kök kanal preparasyonu sırasında mekanik enstrümantasyonun kaçınılmaz bir sonucu olarak, kanal duvarlarında organik ve inorganik bileşenlerden oluşan amorf bir tabaka meydana gelmektedir. Smear tabakası olarak adlandırılan bu yapı; dentin partikülleri, nekrotik pulpa kalıntıları, mikroorganizmalar ve mikroorganizmal ürünleri içeren heterojen bir içerik göstermektedir. Bu tabakanın kök kanal duvarlarını kaplayarak dentin tübüllerinin ağızlarını tıkaması, endodontik tedavinin hem biyolojik hem de mekanik aşamalarını doğrudan etkilemektedir.

Biyolojik açıdan smear tabakası, kök kanal sisteminde mikroorganizmalar için koruyucu bir mikroçevre oluşturabilmektedir. Dentin tübüllerinin yüzeyel kısmını örten bu tabaka, irrigasyon ajanlarının ve intrakanal dezenfektanların tübüller içine penetrasyonunu sınırlandırarak antibakteriyel etkinliğin azalmasına neden olabilmektedir. Güncel çalışmalar, smear tabakasının varlığının, özellikle biyofilm organizasyonu gösteren mikroorganizmaların irrigasyon ajanlarına karşı direnç göstermesini kolaylaştırdığını ortaya koymaktadır (Violich & Chandler, 2010).

Kimyasal özellikleri açısından değerlendirildiğinde smear tabakası, hem organik hem de inorganik fazlar içermesi nedeniyle tek bir irrigasyon ajanı ile tamamen uzaklaştırılamamaktadır. Organik bileşenlerin eliminasyonu için proteolitik etkiye sahip ajanlara ihtiyaç duyulurken, inorganik fazın çözünmesi şelatör özellikteki irrigasyon solüsyonları ile mümkün olmaktadır. NaOCl, organik dokuların çözünmesinde etkili olmasına rağmen, smear tabakasının inorganik yapısı üzerinde sınırlı etki göstermektedir. Buna karşılık EDTA gibi şelatör ajanlar, dentin mineral içeriğini

hedef olarak smear tabakasının inorganik bileşenlerini uzaklaştırabilmektedir (Hülsmann, Rümmlin, & Schäfers, 1997).

Smear tabakasının uzaklaştırılmasının bir diğer önemli boyutu, kök kanal dolgu materyalleri ile dentin yüzeyi arasındaki etkileşimdir. Smear tabakasının varlığı, dolgu materyalinin dentinle adaptasyonunu ve dentin tübüllerine penetrasyonunu sınırlandırarak sızdırmazlık kalitesini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Güncel literatür, smear tabakasının kontrollü şekilde uzaklaştırılmasının, sealer penetrasyonunu artırdığını ve mikrosızıntı riskini azalttığını bildirmektedir (Eldeeb & ark., 2021). Bununla birlikte, şelatör ajanların uzun süreli veya kontrolsüz kullanımı dentin erozyonuna yol açarak kök dentinin mekanik dayanımını olumsuz etkileyebilmektedir.

Son yıllarda smear tabakasının uzaklaştırılmasında irrigasyon ajanlarının uygulama protokolü ve aktivasyon yöntemleri de ön plana çıkmıştır. İrrigasyonun ultrasonik veya diğer aktivasyon teknikleri ile desteklenmesi, irrigantların kanal duvarlarıyla temasını artırarak smear tabakasının daha etkin biçimde elimine edilmesine katkı sağlayabilmektedir. Güncel sistematik derlemeler, aktivasyon yöntemlerinin özellikle apikal bölgede smear tabakası uzaklaştırma etkinliğini artırabileceğini, ancak optimal protokollerin henüz netlik kazanmadığını vurgulamaktadır (de Gregorio & ark., 2009).

Smear tabakasının uzaklaştırılması, kök kanal sisteminin etkin dezenfeksiyonu, dolgu materyallerinin dentinle uyumu ve uzun dönem tedavi başarısı açısından kritik bir basamak olarak değerlendirilmelidir. Smear tabakasının biyolojik ve kimyasal özelliklerinin doğru şekilde anlaşılması, irrigasyon protokollerinin daha kontrollü, hedefe yönelik ve biyouyumlu biçimde planlanmasına olanak sağlamaktadır.

Biofilm yapısı ve direnç mekanizmaları

Endodontik enfeksiyonların biyolojik karakteri, klasik planktonik bakteri kavramının ötesinde, karmaşık ve organize bir biyofilm yapısı ile tanımlanmaktadır. Biofilm; mikroorganizmaların, kendi ürettikleri ekstraselüler polimerik matriks (EPS) içerisinde, dentin yüzeylerine tutunarak oluşturdukları üç boyutlu ve dinamik bir mikrobiyal topluluk olarak tanımlanmaktadır. Bu yapı, kök kanal sisteminin düzensiz anatomisi içerisinde mikroorganizmalar için korunaklı bir yaşam alanı oluşturarak endodontik tedavinin biyolojik zorluklarını artırmaktadır (Flemming & ark., 2016).

Biofilm organizasyonu, kök kanal enfeksiyonlarında mikroorganizmaların çevresel streslere karşı dayanıklılığını belirleyen temel faktörlerden biridir. EPS matriksi; irrigasyon ajanlarının difüzyonunu sınırlamakta, antibakteriyel maddelerin etkin konsantrasyona ulaşmasını engellemekte ve mikroorganizmalar arasında fiziksel bir bariyer oluşturmaktadır. Ayrıca biofilm içindeki bakteriler, planktonik formlara kıyasla farklı gen ekspresyon profilleri sergileyerek metabolik aktivitelerini azaltabilmekte ve bu durum antimikrobiyal ajanlara karşı toleransı artırmaktadır (Flemming & Wuertz, 2019).

Endodontik biofilmlerde gözlenen direnç mekanizmaları yalnızca fiziksel bariyer etkisi ile sınırlı değildir. Hücreler arası iletişimi sağlayan quorum sensing (bakteriler arası yoğunluk algısına dayalı hücreler arası iletişim) sistemleri, biofilm içindeki mikroorganizmaların çevresel koşullara kolektif yanıt vermesine olanak tanımaktadır. Bu sinyalizasyon mekanizmaları, stres yanıtlarının düzenlenmesi, virülans faktörlerinin ekspresyonu ve antibakteriyel ajanlara karşı adaptif yanıtların gelişiminde önemli rol oynamaktadır. Bu durum, kök kanal irrigasyonunda uygulanan kimyasal ajanların neden tek başına tam bir eradikasyon sağlayamadığını biyolojik düzeyde açıklamaktadır (Flemming & ark., 2016).

Endodontik enfeksiyonlarda biofilm direncini artıran bir diğer önemli faktör, mikroorganizmaların dentin tübülleri içerisine penetre olabilme yetenekleridir. Dentin tübülleri, hem mekanik enstrümantasyonun hem de irrigasyon ajanlarının erişiminin sınırlı olduğu mikro nişler oluşturarak bakterilerin uzun süreli persiste olmasına zemin hazırlamaktadır. Bu durum, özellikle tedaviye dirençli ve sekonder enfeksiyonlarla ilişkili vakalarda klinik başarısızlığın temel nedenlerinden biri olarak değerlendirilmektedir (Svensäter & Bergenholtz, 2004).

Güncel biyofilm araştırmaları, endodontik dezenfeksiyonun yalnızca antimikrobiyal ajanların kimyasal gücüne değil; biyofilm yapısının fiziksel olarak bozulmasına, irrigantların etkin dağılımına ve temas süresinin optimize edilmesine bağlı olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda biyofilm direncinin anlaşılması, geleneksel irrigasyon protokollerinin ötesine geçen yeni nesil yaklaşımların geliştirilmesi için temel bir biyolojik zemin oluşturmaktadır.

Nanoteknolojinin Endodontiye Girişi

Nanoteknolojinin temel prensipleri

Nanoteknoloji, maddenin yaklaşık 1–100 nanometre boyut aralığında kontrol edilmesi ve bu ölçekte ortaya çıkan fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerin fonksiyonel amaçlarla kullanılması esasına dayanan disiplinler arası bir bilim alanıdır. Bu boyut aralığında materyaller, makroskobik formlarından farklı davranışlar sergileyerek yüzey reaktivitesi, mekanik özellikler ve biyolojik etkileşimler açısından belirgin avantajlar kazanabilmektedir (Bayda & ark., 2019).

Nanoteknolojinin temel prensiplerinden biri, yüzey alanı/hacim oranındaki dramatik artıştır. Nanoboyuttaki partiküller, aynı kütledeki daha büyük materyallere kıyasla çok daha geniş bir aktif yüzey sunar. Bu durum, kimyasal reaksiyonların hızını ve

biyolojik temas etkinliğini artırarak antimikrobiyal ajanlar, ilaç taşıyıcı sistemler ve biyomalzemeler açısından önemli fonksiyonel üstünlükler sağlar. Özellikle biyolojik sistemlerle etkileşimde, bu artmış yüzey alanı hücre membranları, proteinler ve mikrobiyal yapılarla daha etkin temas kurulmasına olanak tanımaktadır (Patra & ark., 2018; Salata, 2004).

Bir diğer temel prensip, nanoboyutta ortaya çıkan fizikokimyasal özellik değişimleridir. Nanopartiküller, kuantum etkileri ve yüzey atomlarının baskınlığı nedeniyle optik, elektriksel ve kimyasal özellikler bakımından bulk materyallerden farklı davranışlar sergileyebilir. Bu özellikler, nanopartiküllerin kontrollü reaktivite göstermesine, hedeflenmiş etki oluşturmaya ve çevresel koşullara duyarlı sistemler geliştirilmesine olanak tanımaktadır (Bayda & ark., 2019).

Nanoteknolojinin biyomedikal uygulamalardaki en önemli prensiplerinden biri de fonksiyonelleştirme yaklaşımıdır. Nanopartiküllerin yüzeylerinin kimyasal veya biyolojik moleküllerle modifiye edilmesi, bu yapıların hedef dokularla seçici etkileşim kurmasını, biyouyumluluğunun artırılmasını ve istenmeyen toksik etkilerin azaltılmasını mümkün kılmaktadır. Bu özellik, özellikle mikroorganizmalara karşı hedefe yönelik etki oluşturulması gereken alanlarda nanoteknolojiyi geleneksel yaklaşımlardan ayıran temel bir avantaj olarak değerlendirilmektedir (Patra & ark., 2018).

Biyolojik sistemler açısından değerlendirildiğinde, nanopartiküllerin boyutları hücresel bariyerleri aşabilme, biyolojik membranlarla etkileşime girebilme ve mikro nişlere penetre olabilme kapasitesini belirleyen kritik bir faktördür. Bu özellik, nanoteknolojiyi özellikle biyofilm yapıları, dentin tübülleri ve kompleks anatomik alanlar gibi ulaşılması güç bölgelerde etkili bir araç hâline getirmektedir. Nanoboyutlu yapıların bu mikro çevrelere erişim potansiyeli, endodontide nanoteknoloji temelli yaklaşımların

neden giderek artan ilgi gördüğünü açıklamaktadır (Bayda & ark., 2019).

Genel olarak nanoteknolojinin temel prensipleri; boyut kontrolü, artmış yüzey alanı, özgün fizikokimyasal özellikler ve yüzey fonksiyonelleştirme kavramları etrafında şekillenmektedir. Bu prensipler, nanoteknolojinin endodonti gibi biyolojik ve mikroskobik hassasiyet gerektiren alanlarda yenilikçi uygulamalara zemin hazırlamasını sağlamaktadır.

Diş Hekimliğinde Nanoteknolojinin Kullanım Alanları

Nanoteknoloji, diş hekimliğinde yalnızca teorik bir kavram olmaktan çıkmış; farklı klinik disiplinlerde materyal performansını ve biyolojik etkileşimleri iyileştirmeyi hedefleyen uygulamalara entegre edilmiştir. Nanoboyutlu yapıların artmış yüzey alanı, kontrollü reaktivite ve biyolojik dokularla yakın temas kurabilme özellikleri, bu teknolojinin dental materyallerin fonksiyonel özelliklerini geliştirmede etkin bir araç olarak kullanılmasını mümkün kılmaktadır.

Restoratif diş hekimliği alanında nanoteknoloji, özellikle rezin esaslı kompozit materyallerde yaygın olarak uygulanmaktadır. Nanodoldurucu içeren kompozitlerin, geleneksel dolduruculara kıyasla daha homojen bir dağılım sergilediği; bunun sonucunda mekanik dayanım, yüzey pürüzlülüğü ve aşınma direnci gibi özelliklerin iyileştiği gösterilmiştir. Bu tür materyallerin klinik kullanımında, estetik stabilite ve uzun dönem yüzey bütünlüğü açısından avantaj sağladığı bildirilmektedir (Mitra, Wu, & Holmes, 2003).

Koruyucu diş hekimliğinde nanoteknoloji, mine ve dentin remineralizasyonunu destekleyen ajanların geliştirilmesinde önemli bir rol üstlenmektedir. Nano-hidroksiapatit gibi biyomimetik nanomateriyaller, diş sert dokularının mineral yapısına benzer özellikler göstererek demineralize alanlarda mineral birikimini

teşvik edebilmektedir. İn vitro ve klinik çalışmalar, bu tür nanomateriyallerin erken dönem mine lezyonlarında mineral yoğunluğunu artırabildiğini ortaya koymaktadır (Huang & ark., 2011).

Nanoteknolojinin diş hekimliğindeki bir diğer önemli uygulama alanı, antimikrobiyal özellik kazandırılmış dental materyallerin geliştirilmesidir. Gümüş ve titanyum dioksit gibi metal nanopartiküllerin, bakteriyel hücre duvarı bütünlüğünü bozarak mikrobiyal adezyonu ve proliferasyonu baskıladığı gösterilmiştir. Bu özellikleri sayesinde nanopartikül içeren materyaller, biyofilm oluşumunun azaltılmasına ve sekonder enfeksiyon riskinin düşürülmesine katkı sağlayabilmektedir (Besinis, De Peralta, & Handy, 2014).

Dental implantolojide ise nanoteknoloji, implant yüzey modifikasyonu yoluyla osseointegrasyon sürecini desteklemeyi amaçlamaktadır. Nanoyapılı implant yüzeylerinin osteoblast adezyonunu ve hücresel aktiviteyi artırarak kemik–implant ara yüzeyinde daha güçlü bir biyolojik bağlanma sağladığı bildirilmiştir. Bu tür yüzeylerin erken dönem stabilite ve uzun dönem implant başarısı üzerinde olumlu etkiler oluşturabileceği gösterilmiştir (Wennerberg & Albrektsson, 2010).

Genel olarak diş hekimliğinde nanoteknolojinin kullanım alanları; materyallerin mekanik özelliklerini iyileştirmenin ötesinde, biyolojik yanıtların yönlendirilmesi, mikrobiyal kontrolün desteklenmesi ve doku–materyal etkileşiminin optimize edilmesi gibi çok boyutlu hedeflere yönelmiştir. Bu yaklaşım, nanoteknolojinin endodonti gibi mikroskobik ölçekte hassasiyet gerektiren alanlarda neden artan bir araştırma odağı hâline geldiğini açıklamaktadır.

Endodontide Nanoteknolojik Yaklaşımların Gelişimi

Nanoteknolojinin endodontiye entegrasyonu, kök kanal sisteminin karmaşık anatomisi ve biyofilm ilişkili enfeksiyonların geleneksel dezenfeksiyon yöntemleriyle tam olarak kontrol altına alınamamasıyla doğrudan ilişkilidir. Mekanik preparasyon ve konvansiyonel irrigasyon protokollerinin sınırlılıklarının daha iyi anlaşılması, mikro ölçekte etkili ve hedefe yönelik yeni yaklaşımlara olan ilgiyi artırmış; bu bağlamda nanoteknoloji, endodontik dezenfeksiyon ve biyoyumluluk alanlarında yenilikçi çözümler sunan bir disiplin olarak öne çıkmıştır (Kishen & Shrestha, 2015).

Endodontide nanoteknolojik yaklaşımların ilk aşamalarında, araştırmalar ağırlıklı olarak antimikrobiyal nanopartiküllerin kök kanal patojenleri üzerindeki etkilerine odaklanmıştır. Gümüş, çinko oksit ve kitosan bazlı nanopartiküllerin, *Enterococcus faecalis* (*E. Faecalis*) gibi tedaviye dirençli mikroorganizmalar üzerinde konvansiyonel ajanlara kıyasla daha etkili olabildiği gösterilmiştir. Bu etkinliğin, nanopartiküllerin hücre duvarı bütünlüğünü bozabilme, reaktif oksijen türleri oluşturabilme ve biyofilm matriksi içine penetre olabilme kapasiteleriyle ilişkili olduğu bildirilmiştir (Wu & ark., 2014).

Takip eden dönemde nanoteknolojik yaklaşımlar, yalnızca antimikrobiyal etkinliğe odaklanmakla sınırlı kalmamış; biyofilm yapısının fiziksel olarak bozulması, dentin tübüllerine penetrasyonun artırılması ve irrigasyon ajanlarının etkinliğinin güçlendirilmesi gibi hedeflere yönelmiştir. Özellikle kitosan ve fonksiyonelleştirilmiş nanopartiküllerin, dentin yüzeyleriyle etkileşime girerek hem antibakteriyel etki sağladığı hem de dentinle biyoyumlu bir ara yüzey oluşturabildiği rapor edilmiştir (Kishen & ark., 2008).

Nanoteknolojinin endodontideki gelişiminde bir diğer önemli aşama, nanopartiküllerin mevcut endodontik materyal ve protokollere entegre edilmesi olmuştur. İrrigasyon çözeltilerine nanopartikül eklenmesi, kök kanal patojenlerine karşı sinerjik etki

oluşturma potansiyeli taşırken; kanal içi medikamentler ve sealerlar içerisine dahil edilen nanoyapılar, uzun sureli antibakteriyel etki ve biyolojik stabilite sağlamayı hedeflemiştir. Bu yaklaşım, endodontik tedavide “pasif dezenfeksiyon” kavramından “fonksiyonel ve surdrlebilir dezenfeksiyon” anlayışına geçişi temsil etmektedir.

Bu dönüşüm, nanoteknolojik yaklaşımların yalnızca antimikrobiyal etkinliğe değil; aynı zamanda dentin matriksinin biyolojik ve yapısal özelliklerinin nanoölçekte yeniden tanımlanmasına odaklanmasını beraberinde getirmiştir.

Kollajen fibrillerinin nanoboyutlu yapıların infiltrasyonuna olarak tanıyan organizasyonu, biyomimetik yaklaşımların endodontik materyal biliminde kullanılmasına zemin hazırlamıştır. Kollajen fibriller içine nanoölçekte silika infiltrasyonunun mümkün olduğunu gösteren deneysel çalışmalar, dentin matriksinin yalnızca pasif bir yapı olmadığını; uygun nanoteknolojik stratejilerle fonksiyonel olarak modifiye edilebileceğini ortaya koymuştur. Bu bulgular, özellikle dentin tübülleri ve intertübüler dentin gibi mikro-nişlerde materyal–doku etkileşiminin optimize edilmesine yönelik nanoteknoloji temelli yaklaşımların teorik altyapısını güçlendirmiştir (Niu & ark., 2011).

Bu tür biyomimetik nano-infiltrasyon yaklaşımları, doğrudan antimikrobiyal etki hedeflemese de endodontide kullanılan irrigasyon ajanları, sealerlar ve kanal içi medikamentlerin dentinle etkileşimini iyileştirmeye yönelik önemli kavramsal katkılar sunmuştur. Dentin matriksinin nanoyapılı modifikasyonu, ileri dönem nanoteknolojik irrigasyon ve dezenfeksiyon stratejilerinin geliştirilmesinde temel bir bilimsel referans noktası olarak değerlendirilmektedir.

Güncel endodontik nanoteknoloji araştırmaları, nanopartiküllerin yalnızca mikrobiyal eliminasyon açısından değil; dentin–materyal etkileşimi, biyoyumluluk ve periapikal

iyileşme üzerindeki etkilerini de değerlendirmeye yönelmiştir. Bu çok yönlü bakış açısı, nanoteknolojinin endodontide tek başına bir antimikrobiyal araç olmaktan ziyade, biyolojik ve materyal temelli bir tedavi yaklaşımı olarak konumlandırılmasına katkı sağlamıştır (Kishen & Shrestha, 2015).

Endodontide nanoteknolojik yaklaşımların gelişimi; kök kanal dezenfeksiyonundaki biyolojik zorluklara yanıt olarak ortaya çıkmış, zamanla materyal bilimi ve biyouyumluluk ekseninde genişleyen dinamik bir araştırma alanı hâline gelmiştir. Bu gelişim süreci, günümüzde nanopartikül temelli irrigasyon ajanları ve yeni nesil dezenfeksiyon stratejilerinin neden yoğun biçimde araştırıldığını açıklayan temel bilimsel zemini oluşturmaktadır.

İrrigasyon Amaçlı Kullanılan Nanopartiküllerin Sınıflandırılması

Kök kanal irrigasyonunda nanopartikül temelli yaklaşımlar; yüksek yüzey alanı/hacim oranı, mikro-nişlere (özellikle dentin tübülleri ve biyofilm matriksi) daha etkili etkileşim potansiyeli ve fonksiyonel modifikasyona elverişli taşıyıcı özellikleri nedeniyle klasik irrigasyon ajanlarına “tamamlayıcı” veya “güçlendirici” bir alternatif olarak değerlendirilmektedir. Bu çerçevede irrigasyon amaçlı kullanılan nanoyapılar, bileşim ve işlevlerine göre aşağıdaki ana gruplarda sınıflandırılabilir:

Metal nanopartiküller

Endodontide kullanılan başlıca metal nanopartiküller: Gümüş nanopartiküller (AgNP), Çinko oksit nanopartikülleri (ZnO NP), Titanyum dioksit nanopartikülleri (TiO₂ NP), Bakır nanopartikülleri (Cu, CuO)

Metal nanopartiküller içerisinde en sık araştırılan grup gümüş nanopartiküllerdir. AgNP’ler, iyon salınımı ve temas yüzeyi üzerinden membran bütünlüğünü bozma, enzimatik süreçleri

baskılama ve biyofilm organizasyonunu zayıflatma gibi çoklu mekanizmalarla antimikrobiyal/antibiyofilm etki gösterebilir (Didar & ark., 2025). Endodontik irrigasyonda bu grup, tek başına irrigant olarak veya irrigasyon protokolüne ek bir “final irrigasyon” komponenti şeklinde ele alınmaktadır.

- Mekanizma:

Gümüş nanopartiküller (AgNP), bakteri hücre membranı bütünlüğünü bozma, protein ve enzim fonksiyonlarını inhibe etme ve reaktif oksijen türleri (ROS) oluşumunu tetikleme gibi çoklu mekanizmalarla antimikrobiyal etki gösterir. Nanoboyut, biyofilm matriksi içine daha etkin penetrasyon sağlayarak planktonik formlara kıyasla daha dirençli mikroorganizmalara karşı etkiyi güçlendirir.

- Kanıt tipi:

İn vitro biyofilm modellerinde *E. faecalis* üzerinde anlamlı antibiyofilm etki gösterilmiştir. Biyolojik kökenli (bitkisel ekstraktlarla sentezlenen) AgNP’lerin de etkinliği rapor edilmiştir (Didar & ark., 2025).

- Klinik uygulanabilirlik:

Final irrigasyon ajanı olarak veya NaOCl/EDTA protokollerine ek bileşen şeklinde değerlendirilmiştir. Sinerjik etki potansiyeli ön plandadır.

- Sınırlılıklar:

Konsantrasyona bağlı sitotoksosite, dentin renklenmesi ve uzun dönem biyoyuumluluk verilerinin sınırlı olması klinik adaptasyonu kısıtlayan faktörlerdir.

Metal Oksit Nanopartiküller

Endodontide kullanılan başlıca metal oksit nanopartiküller: Çinko oksit (ZnO NP), Titanyum dioksit (TiO₂ NP)

Metal oksit nanopartiküller; fotokatalitik/oksidatif stres üzerinden mikrobiyal yükü azaltma ve antimikrobiyal etkinliği artırma potansiyeli nedeniyle irrigasyon araştırmalarında öne çıkmaktadır. Örneğin ZnO nanopartiküllerin yardımcı fiziksel aktivasyon yöntemleriyle (ışık ya da elektrokimyasal uygulamalar) birlikte kullanılması, dezenfeksiyon etkinliğini artırmayı hedefleyen güncel bir yaklaşımdır (Rengaraj & ark., 2025; Singh & Qutieshat, 2021). TiO₂ nanopartiküller ise irrigasyon sekansına entegre edildiğinde dentin/kanal duvarı etkileşimi ve “final irrigasyon” sonrası mekanik dayanım parametreleri gibi çıktılar üzerinden de değerlendirilmektedir (Ebrahim & ark., 2024).

- Mekanizma:

ZnO ve TiO₂ nanopartiküller, oksidatif stres indüksiyonu ve yüzey temasına bağlı membran hasarı yoluyla antimikrobiyal etki oluşturur. Enerji temelli aktivasyon (ışık/elektrokimyasal) ile bu etki artırılabilir.

- Kanıt tipi:

İn vitro çalışmalar, ZnO nanopartiküllerin mavi ışıqla birlikte kullanıldığında NaOCl'nin dezenfeksiyon etkinliğini artırabildiğini göstermektedir. TiO₂ nanopartiküllerle final irrigasyonun kök direnci gibi mekanik parametreler üzerine etkileri de değerlendirilmiştir.

- Klinik uygulanabilirlik:

Final irrigasyon aşamasında yardımcı ajan olarak veya enerji temelli aktivasyonla kombine protokollerde potansiyel kullanım alanı vardır.

- Sınırlılıklar:

Aktivasyon gereksinimi, klinik standardizasyonun zorluğu ve fotokatalitik sistemlerin pratikte uygulanabilirliği sınırlayıcıdır.

Polimerik/Biyopolimerik Nanopartiküller (Kitosan Nanopartiküller)

Biyopolimer kökenli nanoteknolojik sistemler, yüksek biyouyumlulukları ve fonksiyonel grup zenginlikleri sayesinde endodontik irrigasyon yaklaşımlarında dikkat çeken bir konuma sahiptir. Bu sistemler, yalnızca antimikrobiyal etki göstermekle kalmayıp; aynı zamanda smear tabakası ve dentin yüzeyi ile ilişkili kimyasal etkileşimler üzerinden yüzey özelliklerini modüle edebilme potansiyeli taşımaktadır. Bu bağlamda kitosan nanopartiküller, kök kanal sisteminde hem biyolojik hem de materyal temelli hedefleri aynı anda ele alabilen çok yönlü bir platform olarak değerlendirilmektedir.

Kitosan nanopartiküllerin final irrigasyon ajanı olarak kullanıldığı deneysel çalışmalarda, uygulama süresine bağlı olarak kök kanal obturasyonu ile ilişkili sızdırmazlık ve bağlanma dayanımı gibi parametreler üzerinde anlamlı etkiler oluşturabildiği gösterilmiştir. Bu etkilerin, kitosanın pozitif yüzey yükü aracılığıyla dentinle elektrostatik etkileşime girmesi ve kanal duvarı–sealer ara yüzeyinde daha homojen bir temas sağlamasıyla ilişkili olduğu bildirilmektedir (Ratih & ark., 2020).

Kitosan nanopartiküllerin endodontideki önemini artıran bir diğer özellik, taşıyıcı (carrier) sistem olarak kullanılabilme kapasiteleridir. Kitosanın amino grupları, antimikrobiyal ajanlar veya fotosensitizer moleküllerin nanopartikül matrisi içerisinde taşınmasına olanak tanıyarak bu ajanların kök kanal sisteminde daha kontrollü ve sürdürülebilir biçimde salınmasını mümkün kılmaktadır. Bu özellik, irrigasyon sonrası dönemde antibakteriyel etkinliğin devamlılığını destekleyen “fonksiyonel irrigant” yaklaşımının temel bileşenlerinden biri olarak değerlendirilmektedir.

Bu kapsamda kitosan nanopartiküllerin fotosensitizerlerle kombine edilerek fotodinamik terapi protokollerine entegre edilmesi, endodontik dezenfeksiyonda çoklu etki mekanizmalarını bir araya getiren yenilikçi bir alt sınıf oluşturmuştur. Fotodinamik aktivasyon sonrası oluşan reaktif oksijen türleri ile kitosanın biyofilm penetrasyon kapasitesinin birleşmesi, hem planktonik bakteriler hem de organize biyofilm yapıları üzerinde güçlendirilmiş antibakteriyel etki sağlamayı hedeflemektedir. Bu yaklaşım, kitosanın yalnızca pasif bir taşıyıcı değil; aktif ve fonksiyonel bir irrigasyon platformu olarak konumlandırılmasına olanak tanımaktadır (Alkhudhairy & AlRefeai, 2024).

- Mekanizma:

Kitosan nanopartiküller, pozitif yüzey yükleri sayesinde bakteriyel hücre duvarıyla elektrostatik etkileşime girer; membran geçirgenliğini bozarak antibakteriyel etki oluşturur. Aynı zamanda dentinle biyoyumlu yüzey etkileşimleri gösterir.

- Kanıt tipi:

Zamana bağlı in vitro çalışmalar, kitosan nanopartiküllerin final irrigasyon olarak kullanıldığında apikal sızdırmazlık ve push-out bağlanma dayanımını etkileyebildiğini göstermiştir (Ratih & ark., 2020). Fotodinamik terapi ile kombine kullanımlar antibakteriyel etkinliği artırmaktadır (Alkhudhairy & AlRefeai, 2024).

- Klinik uygulanabilirlik:

Final irrigasyon ajanı veya destekleyici dezenfektan olarak değerlendirilebilir; biyoyumluluğu klinik açıdan avantaj sağlar.

- Sınırlılıklar:

Antimikrobiyal etkinlik, metal nanopartiküllere kıyasla daha düşük olabilir; optimal konsantrasyon ve temas süresi henüz net değildir.

Nano-Özellikli Kompleks/Şelatör Sistemler (Gümüş-Sitrat Bazlı İrrigasyon Çözeltileri)

Nanopartikül kavramı her zaman “katı partikül süspansiyonu” ile sınırlı değildir; bazı protokoller, antimikrobiyal metal bileşenini şelatör/kompleks formunda sunarak hem smear tabakası kontrolü hem de kimyasal dezenfeksiyonu birlikte hedefler. Gümüş-sitrat bazlı BioAkt BioAkt Endodontic Irrigant; PPH CerKamed, Stalowa Wola, Polonya) gibi irrigasyon çözeltileri bu yaklaşımın örneklerindendir ve dentin mikrosertliği gibi dokusal parametreler üzerinden de değerlendirilmiştir (Alyahya & ark., 2022).

- Mekanizma:

Gümüş-sitrat bazlı irrigasyon çözeltileri, metal iyonlarının komplekslenmiş formda sunulmasıyla hem antimikrobiyal etkiyi hem de smear tabakası kontrolünü hedefler. Nanoboyutlu etkileşim, dentin yüzeyiyle daha homojen temas sağlar.

- Kanıt tipi:

İn vitro çalışmalar, bu tür çözeltilerin dentin mikrosertliği üzerinde EDTA ve sitrik asit ile karşılaştırılabilir etkiler gösterebildiğini rapor etmiştir (Alyahya & ark., 2022).

- Klinik uygulanabilirlik:

Final irrigasyon ajanı olarak klinikte halihazırda kullanılan ticari formlar mevcuttur.

- Sınırlılıklar:

Uzun dönem biyolojik etkiler ve antibiyofilm etkinliğe dair klinik veriler sınırlıdır.

Aktivasyonla Güçlendirilen Nano-İrrigasyon Sistemleri (Foto-, Elektro- Veya Hibrit Yaklaşımlar)

Nanopartiküllerin etkinliği; enerji temelli aktivasyon (ışık/laser), elektrokimyasal uygulamalar veya hibrit protokollerle artırılmaya çalışılmaktadır. Örneğin ZnO nanopartiküllerin elektrokimyasal bir düzenele birlikte kullanıldığı güncel model, biyofilme karşı dezenfeksiyon etkinliğini yükseltirken hücrel biyoyumluluk penceresini korumayı hedefleyen bir “nano + enerji” paradigmasını temsil eder (Rengaraj & ark., 2025). Benzer şekilde kitosan nanopartikül–Rose Bengal (ksanten türevi bir fotosensitizer boya) kombinasyonunun diode lazerle aktive edilmesi, hem antibakteriyel etki hem de smear tabakası uzaklaştırma çıktılarıyla çoklu hedefli bir final irrigasyon yaklaşımı sunar (Alkudhairi & AlRefeai, 2024).

- Mekanizma:

Nanopartiküllerin enerji temelli aktivasyon (elektrokimyasal, fotodinamik) ile birlikte kullanımı, irrigantın biyofilm matriksi içindeki dağılımını ve reaktivitesini artırır.

- Kanıt tipi:

Elektrokimyasal nano-irrigasyon yaklaşımlarının biyofilm eliminasyonunu anlamlı şekilde artırabildiği deneysel olarak gösterilmiştir.

- Klinik uygulanabilirlik:

Araştırma düzeyinde umut vadeden bir alan olup, klinik protokol standardizasyonu henüz oluşmamıştır.

- Sınırlılıklar:

Ekipman gereksinimi, maliyet ve klinik entegrasyon zorlukları temel sınırlayıcı faktörlerdir.

Nanopartiküllerin Antimikrobiyal ve Antibiofilm Mekanizmaları

Nanopartiküllerin endodontik dezenfeksiyonda dikkat çekmesinin temel nedeni, antimikrobiyal etkilerinin tek bir biyolojik hedefle sınırlı olmamasıdır. Konvansiyonel irrigasyon ajanları genellikle hücre duvarı bütünlüğü veya protein denatürasyonu üzerinden etki gösterirken, nanopartiküller çoklu ve eş zamanlı mekanizmalar aracılığıyla mikroorganizmalar ve biyofilm yapıları üzerinde etki oluşturabilmektedir. Bu çok hedefli etki profili, özellikle biyofilm ilişkili ve tedaviye dirençli endodontik enfeksiyonlar açısından önemli bir avantaj sunmaktadır (Hajipour & ark., 2012).

Hücre Duvarı ve Membran Bütünlüğünün Bozulması

Nanopartiküllerin antimikrobiyal etkilerinin temel mekanizmalarından biri, bakteri hücre duvarı ve membranı ile doğrudan temas sonucu yapısal bütünlüğün bozulmasıdır. Nanoboyutlu yapıların yüksek yüzey enerjisi ve geniş temas alanı, hücre membranında geçirgenlik artışına ve hücre içi bileşenlerin sızmasına yol açabilmektedir. Özellikle pozitif yüklü nanopartiküller, negatif yüklü bakteri hücre yüzeyleriyle elektrostatik etkileşime girerek membran destabilizasyonunu hızlandırmaktadır (Slavin & ark. , 2017).

Reaktif Oksijen Türleri (ROS) Oluşumu

Metal ve metal oksit nanopartiküllerin önemli bir antibakteriyel etki yolu, reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimini tetiklemeleridir. Hidroksil radikalleri, süperoksit anyonları ve hidrojen peroksit gibi reaktif türler; hücresel proteinlere, lipidlere ve nükleik asitlere zarar vererek mikroorganizmaların metabolik fonksiyonlarını geri dönüşümsüz şekilde bozmaktadır. Bu oksidatif stres mekanizması, özellikle biyofilm içindeki düşük metabolik

aktiviteye sahip bakterilere karşı etkinlik göstermesi açısından önem taşımaktadır (Rai, Yadav, & Gade, 2009).

Protein ve Enzim Fonksiyonlarının İnhibisyonu

Nanopartiküller, hücre içi proteinlerle ve enzimatik sistemlerle etkileşime girerek mikrobiyal metabolizmayı baskılayabilmektedir. Metal iyonu salınımı veya yüzey bağlanması yoluyla gerçekleşen bu etkileşimler, enerji üretimi, DNA replikasyonu ve hücre bölünmesi gibi temel biyolojik süreçlerin inhibisyonuna neden olmaktadır. Bu mekanizma, nanopartiküllerin bakteriyostatik ve bakterisidal etkilerinin birlikte gözlenmesini açıklayan önemli bir biyokimyasal temeli oluşturmaktadır (Hajipour & ark., 2012).

Biyofilm Matriksinin Bozulması ve Penetrasyonun Artması

Biyofilm yapısının ekstraselüler polimerik matriksi (EPS), klasik antimikrobiyal ajanlar için önemli bir fiziksel bariyer oluşturmaktadır. Nanopartiküller, küçük boyutları ve yüzey özellikleri sayesinde bu matriks içerisine daha etkin şekilde penetre olabilmekte; EPS bileşenleriyle etkileşime girerek biyofilm bütünlüğünü zayıflatabilmektedir. Bu durum, yalnızca doğrudan antibakteriyel etkiyi değil; aynı zamanda irrigasyon ajanlarının biyofilm içine difüzyonunu da artırarak dolaylı bir sinerjik etki oluşturmaktadır (Flemming & Wuertz, 2019).

Taşıyıcı Sistemler Aracılığıyla Sürdürülebilir Antimikrobiyal Etki

Polimerik ve biyopolimerik nanopartiküller, antimikrobiyal ajanların veya fotosensitizer moleküllerin taşınmasına olanak tanıyarak kontrollü ve uzun süreli salınım profilleri oluşturabilmektedir. Bu özellik, irrigasyon sonrası dönemde antibakteriyel etkinliğin devamlılığını destekleyen “sürdürülebilir dezenfeksiyon” yaklaşımının temelini oluşturmaktadır. Taşıyıcı

sistemlerin biyofilm penetrasyonu ile birleşmesi, nanopartiküllerin endodontik tedavide klasik “anlık etki” paradigmasının ötesine geçmesini sağlamaktadır (Patra & ark., 2018).

Nanopartikül Tabanlı İrrigasyon Ajanlarının Klasik İrriganlarla Karşılaştırılması

Kök kanal irrigasyonunda uzun yıllardır kullanılan NaOCl, EDTA ve CHX gibi klasik irrigantlar; doku çözme kapasitesi, smear tabakası uzaklaştırma etkinliği ve antimikrobiyal özellikleri nedeniyle endodontik tedavinin temel bileşenleri olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte, kök kanal sisteminin karmaşık anatomik yapısı ve biyofilm ilişkili enfeksiyonların çok katmanlı direnci, bu ajanların tek başına her zaman yeterli olamayabileceğini ortaya koymuştur. Nanopartikül tabanlı irrigasyon ajanlarının geliştirilmesi, bu sınırlılıkların aşılmasına yönelik tamamlayıcı bir strateji olarak gündeme gelmiştir.

Antimikrobiyal Ve Antibiyofilm Etkinlik

Klasik irrigantlar arasında özellikle NaOCl, geniş spektrumlu antimikrobiyal etkinliği ve organik dokuları çözebilme kapasitesi ile öne çıkmaktadır. Nanopartikül bazlı sistemler ise hücre membranı hasarı, reaktif oksijen türleri üretimi ve biyofilm matriksi ile etkileşim gibi çoklu mekanizmalar üzerinden etki göstermektedir. Bununla birlikte, karşılaştırmalı in vitro modellerde gümüş nanopartiküllerin antibakteriyel etkinliğinin, belirli koşullarda NaOCl’nin sağladığı düzeye her zaman ulaşmadığı; etkinliğin büyük ölçüde partikül konsantrasyonu, temas süresi ve biyofilm olgunluğu gibi faktörlere bağlı olduğu bildirilmektedir (Oncu & ark., 2024; Rodrigues & ark., 2018). Bu bulgular, nanopartiküllerin klasik irrigantların doğrudan yerine geçmekten ziyade, protokole entegre edilen destekleyici ajanlar olarak değerlendirilmesinin daha rasyonel olabileceğini düşündürmektedir.

Smear Tabakası Kontrolü ve Yüzey Etkileşimleri

Smear tabakasının uzaklaştırılmasında EDTA gibi şelatörlerin etkinliği uzun süredir kabul görmektedir. Buna karşın biyopolimer kökenli kitosan nanopartiküller, dentin yüzeyiyle kimyasal ve elektrostatik etkileşim kurabilmeleri sayesinde alternatif veya tamamlayıcı bir yaklaşım olarak araştırılmaktadır. Deneysel çalışmalar, kitosan nanopartiküllerin smear tabakasının uzaklaştırılmasında belirli koşullarda EDTA'ya yakın sonuçlar verebildiğini, ancak bu etkinliğin büyük ölçüde uygulama süresi ve konsantrasyona bağlı olduğunu göstermektedir (Ilhan, Cakici, & Cakici, 2024). Bu durum, nanopartikül bazlı ajanların klinik protokollere entegrasyonunda standardizasyon gereksinimini ön plana çıkarmaktadır.

Dentin Dokusu Üzerindeki Biyolojik ve Mekanik Etkiler

Klasik irrigantların en önemli dezavantajlarından biri, dentin yapısı üzerinde oluşturabilecekleri olumsuz kimyasal ve mekanik değişikliklerdir. Nanopartikül tabanlı irrigasyon ajanları ise dentin mikrosertliği, kollajen stabilitesi ve organik matriks bütünlüğü gibi parametreler açısından daha biyouyumlu bir profil sunmayı hedeflemektedir. Kitosan nanopartiküllerle uygulanan final irrigasyon protokollerinin, dentin kollajeninin enzimatik degradasyonuna karşı daha dirençli bir yapı oluşturabildiği ve dentin özellikleri üzerinde koruyucu bir etki gösterebildiği bildirilmiştir (Şengül & ark., 2024). Bu bulgular, nanopartiküllerin yalnızca dezenfeksiyon amacıyla değil, aynı zamanda dentin–materyal etkileşiminin optimize edilmesi açısından da değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Obturasyon Etkileri

Irrigasyon protokolü, kök kanal dolgusunun sızdırmazlığı ve sealer–dentin etkileşimi üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Bu bağlamda nanopartikül içeren final irrigasyon ajanlarının obturasyon

sonrası performansa etkisi klinik açıdan önem taşımaktadır. Kitosan nanopartiküllerin kullanıldığı deneysel çalışmalarda, apikal sızdırmazlık ve push-out bağlanma dayanımı gibi parametrelerin uygulama süresine bağlı olarak değişkenlik gösterebildiği; bazı koşullarda EDTA ile benzer sonuçların elde edilebildiği rapor edilmiştir (Ratih & ark., 2020). Bu veriler, nanopartikül bazlı irrigantların klasik ajanlara alternatif olmaktan ziyade, belirli klinik hedeflere göre seçilebilecek tamamlayıcı seçenekler olarak değerlendirilmesini desteklemektedir.

Nanopartiküllü İrrigasyon ve Aktivasyon Sistemleri

Nanopartikül içeren irrigasyon protokollerinin etkinliği, yalnızca kimyasal özelliklere değil; uygulama sırasında irrigantın kök kanal sistemi içerisindeki fiziksel davranışına da bağlıdır. Enerji temelli aktivasyon sistemleri, irrigasyon ajanlarının dinamik hareketini değiştirerek nanopartiküllerin kanal duvarları, dentin tübülleri ve biyofilm yapılarıyla temasını artırmayı amaçlayan tamamlayıcı teknolojiler olarak değerlendirilmektedir.

Enerji Temelli İrrigasyon Aktivasyon Teknolojileri (Sonik ve Ultrasonik Sistemler)

Enerji temelli irrigasyon aktivasyon teknolojileri, irrigasyon çözeltilerinin kök kanal sistemi içerisindeki etkinliğini artırmak amacıyla mekanik titreşimlerden yararlanan cihazları kapsamaktadır. Sonik sistemler genellikle daha düşük frekanslarda çalışarak irrigantın makroskobik hareketini artırırken, ultrasonik sistemler yüksek frekanslı titreşimler aracılığıyla daha yoğun hidrodinamik etkiler oluşturmaktadır. Bu teknolojiler, irrigantın pasif olarak kanal içerisinde tutulduğu uygulamalara kıyasla daha aktif bir sıvı davranışı sağlamaktadır.

Nanopartikül içeren irrigasyon çözeltilerinde bu tür sistemlerin kullanımı, partiküllerin yalnızca kanal lümeninde değil; lateral kanallar ve düzensiz anatomik bölgelerde de daha etkin

şekilde dolaşabilmesine olanak tanımaktadır. Ultrasonik aktivasyonun sağladığı yüksek enerjili titreşimlerin, nanopartikül süspansiyonlarının kanal duvarlarına yönlendirilmesini kolaylaştırdığı ve irrigasyon etkinliğini artırabilecek bir teknolojik zemin oluşturduğu bildirilmektedir (Van der Sluis & ark., 2007).

Aktivasyon Kaynaklı Hidrodinamik Mekanizmalar ve Nanopartikül Taşınımı

Aktivasyonun irrigasyondaki temel “etki alanı”, irrigantın hidrodinamiğidir. Ultrasonik aktivasyon sırasında ortaya çıkan akış örüntüleri, irrigantın kanal içinde daha etkin dolaşmasına ve özellikle apikal bölgede irrigantın yenilenmesine katkı sağlayabilir. Akış alanını deneysel yüksek hızlı görüntüleme ve hesaplamalı akış modelleriyle doğrulayan çalışmalar, irrigasyon performansının yalnızca irrigant türüne değil, akışın kanal içinde nasıl organize olduğuna da bağlı olduğunu ortaya koymuştur (Boutsioukis & ark., 2010).

Nanopartiküllü irrigasyon açısından bu hidrodinamik etkiler, partikül süspansiyonlarının kanalda homojen taşınması ve mikronişlere erişimi bakımından kritiktir. Aktivasyonla artırılan penetrasyon derinliği, irrigantın dentin tübülleri içine daha fazla ilerlemesine olanak tanıyabilir; bu durum, nanopartiküllerin hedef doku ile temas olasılığını teorik olarak güçlendirir. Sonic, ultrasonik ve fotoakustik aktivasyon yöntemlerinin irrigant penetrasyonu üzerindeki etkisini ex vivo değerlendiren çalışma, aktivasyonun dentin tübüllerine giriş derinliğini artırabildiğini göstermiştir (Galler & ark., 2019).

Nanopartikül içeren bir solüsyonla yapılan deneysel değerlendirmede de, sonik veya ultrasonik ajitasyonun debris uzaklaştırma performansını etkileyebildiği bildirilmiştir; bu, aktivasyonun “partikül içeren” irrigantlarda da klinik açıdan anlamlı

olabilecek çıktılar üretebileceğini düşündürmektedir (Hülsmann, Beckmann, & Baxter, 2021).

Aktivasyon Destekli Nanopartikül Dezenfeksiyonunun Antibakteriyel Sonuçları

Aktivasyonun antibakteriyel etkinliğe katkısı, iki düzeyde ele alınmalıdır: (a) irrigantın kanal içinde daha etkin taşınması ve temas olasılığının artması, (b) biyofilm matriksi üzerinde oluşabilecek mekanik zayıflama. Bununla birlikte, “aktivasyon her zaman antibakteriyel etkinliği artırır” şeklinde genelleyici bir ifade bilimsel olarak risklidir; çünkü etki büyüklüğü irrigant tipi, temas süresi, aktivasyon süresi ve hedef mikroorganizma/biyofilm olgunluğuna göre değişkenlik gösterebilir.

Bu noktada karşılaştırmalı deneysel bir çalışma, farklı final irrigantların ultrasonik aktivasyonla birlikte kullanıldığında hem antimikrobiyal aktivite hem smear tabakası uzaklaştırma hem de dolgu materyali bağlanma dayanımı gibi çıktılarda değişken sonuçlar verebildiğini göstermiştir. Bu bulgu, aktivasyonun antibakteriyel etkiyi artırma potansiyelinin “koşul bağımlı” olduğunu ve protokol tasarımının (konsantrasyon, süre, irrigant seçimi) belirleyici rol oynadığını desteklemektedir (Souza & ark., 2019).

Ayrıca NaOCl penetrasyonu üzerine yapılan ex vivo çalışma, irrigant aktivasyonunun dentin tübüllerine penetrasyonu artırdığını ortaya koyarak, fiziksel aktivasyonun kimyasal etkinliği “ulaşılabilirlik” üzerinden güçlendirebileceğine işaret etmektedir. Bu çerçevede nanopartikül içeren irrigantlar için de, aktivasyonun temel katkısının çoğu zaman doğrudan “daha güçlü kimya” değil, “daha etkin taşınım ve temas” üzerinden gerçekleştiği kabul edilmelidir (Virdee & ark., 2020).

Bu yönüyle aktivasyon sistemleri, nanopartikül temelli irrigasyon yaklaşımlarının yalnızca kimyasal ajanlara dayalı “pasif

dezenfeksiyon” anlayışından uzaklaşarak, dinamik, çok bileşenli ve hedeflenmiş bir dezenfeksiyon stratejisine dönüşmesini sağlayan kritik tamamlayıcı bileşenler olarak değerlendirilmektedir.

Biyouyumluluk ve Sitotoksosite Açısından Değerlendirme

Nanopartikül temelli irrigasyon ajanlarının endodontide kullanım potansiyeli, yalnızca antimikrobiyal etkinlikleriyle değil; periapikal dokular, periodontal ligament ve çevre sert–yumuşak dokular üzerindeki biyolojik etkileriyle birlikte değerlendirilmelidir. Kök kanal irrigasyonu sırasında irrigantların apikal foramen ötesine taşma riski göz önüne alındığında, bu ajanların biyouyumluluğu ve sitotoksosite profili klinik güvenlik açısından belirleyici bir kriter hâline gelmektedir.

Nanopartiküllerin biyolojik sistemlerle etkileşimi, partikül boyutu, yüzey yükü, kimyasal bileşim ve konsantrasyon gibi çok sayıda parametreye bağlıdır. Bu nedenle klasik irrigantlarla karşılaştırıldığında nanopartikül tabanlı sistemlerin güvenlik değerlendirmesi, tek bir biyolojik çıktı üzerinden değil; hücresel canlılık, inflamatuvar yanıt ve doku bütünlüğü gibi çok boyutlu kriterler üzerinden yapılmalıdır.

Metal ve Metal Oksit Nanopartiküllerin Sitotoksosite Profili

Gümüş nanopartiküller, güçlü antimikrobiyal etkilerine rağmen sitotoksosite açısından en sık tartışılan nanopartikül gruplarından biridir. Hücre kültürü modellerinde yapılan çalışmalar, AgNP’lerin konsantrasyona bağlı olarak fibroblast ve osteoblast benzeri hücrelerde hücresel canlılığı azaltabildiğini göstermiştir. Bu sitotoksik etkinin, metal iyonu salınımı ve oksidatif stres mekanizmalarıyla ilişkili olduğu bildirilmektedir (Slavin & ark., 2017).

Metal oksit nanopartiküller (örneğin ZnO ve TiO₂), antimikrobiyal etkinliklerinin yanı sıra biyouyumluluk açısından

daha heterojen sonuçlar sunmaktadır. ZnO nanopartiküllerin düşük konsantrasyonlarda kabul edilebilir hücresel yanıtlar oluşturabildiği, ancak artan dozlarda sitotoksosite riskinin belirgin şekilde yükseldiği rapor edilmiştir. Bu bulgular, metal ve metal oksit nanopartiküllerin irrigasyon ajanı olarak kullanımında doz ve temas süresinin kritik olduğunu ortaya koymaktadır (Raghupathi, Koodali, & Manna, 2011).

Biyopolimer Kökenli Nanopartiküller ve Biyouyumluluk

Biyopolimer temelli nanopartiküller, özellikle kitosan kökenli sistemler, biyouyumluluk açısından daha avantajlı bir profil sunmaları nedeniyle endodontik irrigasyon araştırmalarında öne çıkmaktadır. Kitosanın biyolojik olarak parçalanabilir yapısı ve düşük immünojenitesi, periapikal dokularla temas durumunda daha tolere edilebilir bir biyolojik yanıt oluşturmalarını mümkün kılmaktadır.

Güncel hücre kültürü verileri, kitosan nanopartiküllerin endodontik patojenlere karşı antimikrobiyal etki gösterirken, fibroblast hücrelerinde belirli koşullarda belirgin bir canlılık kaybı oluşturmada değerlendirilebildiğini bildirmektedir (İbrahim & ark., 2021). Bununla birlikte biyouyumluluk değerlendirmesi, tek bir hücre hattı veya tek bir konsantrasyon üzerinden genellenmemelidir; çünkü nanopartiküllerde boyut, yük, dispersiyon stabilitesi ve doz, biyolojik yanıtı belirgin biçimde değiştirebilmektedir.

Bu nedenle yakın tarihli çalışmalar, kitosan temelli irrigasyon sistemlerinin sitotoksosite profilini klinik uygulamaları daha gerçekçi biçimde yansıtan deneysel modeller üzerinden değerlendirmeye yönelmiştir. Örneğin dental kök hücreleri üzerinde yapılan bir çalışmada, kitosan nanopartiküller ve düşük konsantrasyonlu kitosan irrigasyon çözeltilerinin hücre canlılığı açısından görece daha iyi tolere edildiği; buna karşın NaOCl ve EDTA gibi konvansiyonel ajanların daha belirgin sitotoksosite

eğilimi gösterebildiği rapor edilmiştir (Belkadi & ark., 2024). Bu bulgular, kitosan nanopartiküllerin “mutlak güvenli” olduğu anlamına gelmemekle birlikte, uygun konsantrasyon ve temas süresi ile daha geniş bir terapötik pencere sunma potansiyelini desteklemektedir.

Kitosanın biyouyumluluk bağlamındaki bir diğer güçlü yönü, fonksiyonelleştirilmiş taşıyıcı sistem olarak kullanılabilmesidir. Fotosensitizer ile birleştirilmiş kitosan nanopartiküllerin antibiyofilm amaçla kullanıldığı fotodinamik yaklaşımlarda, hedef biyofilm üzerinde etkinlik sağlanırken destek hücreleri açısından güvenlik profilinin ayrıca değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır (Shrestha & Kishen, 2014). Bu yaklaşım, “etkinlik–güvenlik” dengesinin sadece kimyasal ajan seçimiyle değil, aynı zamanda formülasyon ve aktivasyon protokolüyle belirlendiğini göstermesi açısından önem taşır.

Nanopartikül Konsantrasyonu ve Klinik Güvenlik Aralığı

Nanopartikül tabanlı irrigasyon ajanlarının klinik güvenliği, kök kanal sisteminden apikal olarak ekstrüzyon olasılığına bağlı olarak çevre dokularla etkileşimlerini anlamayı gerektirir. Nanopartiküller, metalik (örneğin AgNP, ZnO NP) ve biyopolimerik (örneğin kitosan NP) yapılar olarak farklı biyolojik profillere sahiptir. Metal nanopartiküller, antimikrobiyal etkinliklerinin bir yan ürünü olarak hücreler üzerinde oksidatif stres ve reaktif oksijen türü (ROS) üretimini tetikleyebilir; bu durum, iyon salınımına bağlı olarak hücre membranı bütünlüğünü bozabilir ve sitotoksik etki oluşturabilir. Bu mekanizma, nanopartiküllerin sağlık üzerindeki risklerinin temelini oluşturmaktadır ve nanoskobik yüzey alanının artmasıyla bağlantılıdır

Gümüş nanopartiküller spesifik olarak antimikrobiyal özellikleriyle bilinir; bununla birlikte laboratuvar araştırmaları, AgNP’lerin hücre kültür modellerinde hücrelere girişinin ardından

ROS üretimini artırarak sitotoksik yanıtlar oluşturabildiğini göstermektedir. Bu yanıt, iyon salınımı ve partikül içi metal etkileşimi ile ilişkilendirilmiştir. Öte yandan, ZnO nanopartiküller de yüksek yüzey reaktivitesi nedeniyle bazı hücre tiplerinde konsantrasyon ve maruz kalma süresine bağlı olarak sitotoksik etkiler gösterebilmektedir; bu etki, özellikle yüksek dozlarda fibroblast gibi yumuşak doku hücrelerinde belirginleşmiştir (Ivask & ark., 2014; Raghupathi & ark., 2011).

Karşılaştırıldığında, biyopolimerik nanopartiküller (örneğin kitosan), genellikle metal nanopartiküllere göre daha düşük sitotoksosite ile ilişkilendirilmiştir; kitosanın doğal polisakkarit yapısı ve hücrelerle daha uyumlu etkileşimleri sayesinde literatürde nispeten daha iyi bir biyouyumluluk profili sergilediği bildirilmektedir. Yapılan kapsamlı değerlendirmelerde kitosan nanopartiküllerin birçok hücre hattında düşük sitotoksosite gösterdiği, bunun kısmen polimerin biyolojik parçalanabilirliği ve düşük immünojenitesi ile ilişkili olduğu vurgulanmıştır (Frigaard & ark., 2022).

Bu veriler ışığında, nanopartiküllerin sitotoksosite profili tek bir hücre hattı ya da model üzerinden genellenmemelidir; partikül boyutu, yüzey kimyası, yük durumları ve uygulama koşulları gibi çoklu faktörler bir arada değerlendirilmelidir. Klinik bağlamda irrigasyon ajanı olarak kullanılacak nanopartiküller için güvenli doz aralıklarının tanımlanması ve apikal ekstrüzyon senaryolarının modellenmesi, ileri düzey değerlendirmeler ile ele alınmalıdır.

Klinik Perspektif: Güvenlik ve Geleceğe Yönelik Yaklaşımlar

Nanopartikül tabanlı irrigasyonun klinik anlamlılığı, sadece in vitro antimikrobiyal etkinliklerden öteye geçerek biyolojik güvenlik sınırlarının tanımlanmasına dayanır. Klinik uygulamada irrigasyon ajanlarının apikal ekstrüzyon ihtimali, özellikle olgunlaşmamış apeksli dişler, periapikal rezorpsiyon ve yeniden

tedavi gibi durumlarda daha yüksek olduğundan, nanopartiküllerin dış çevre dokularda oluşturabileceği inflamatuvar veya toksik yanıtlar büyük önem taşır. Bu bağlamda, AgNP ve ZnO NP gibi metalik nanopartiküllerin toksisite mekanizmaları, ROS üretimi ve iyon salınımı üzerinden potansiyel riskler barındırabileceği için temkinli protokol tasarımı gerektirir.

Biyopolimerik nanopartiküller (örneğin kitosan NP) ise genel olarak daha düşük sitotoksisite gösterme eğiliminde olmakla birlikte, bu sınıfın da doku düzeyindeki inflamatuvar yanıtları ve uzun dönem etkileri kapsamlı in vivo modellerde incelenmelidir. Özellikle pulpa ve periodonsiyum ile temas eden nanopartiküller için organ-doku düzeyinde immün yanıt ve doku rejenerasyonu modelleri üzerinde çalışmalar yürütülmesi, klinik güvenlik değerlendirmeleri açısından kritik bir adımdır.

Gelecek Perspektifleri

Nanopartikül tabanlı irrigasyon yaklaşımlarının endodontideki geleceği, yalnızca yeni antimikrobiyal ajanların geliştirilmesine değil; bu ajanların klinik güvenlik, standardizasyon ve hedeflenmiş uygulama ilkeleri doğrultusunda optimize edilmesine bağlıdır. Mevcut literatür, nanopartiküllerin biyofilm ilişkili enfeksiyonlara karşı umut verici sonuçlar sunduğunu göstermekle birlikte, bu sistemlerin rutin klinik protokollere entegrasyonu için aşılması gereken önemli bilimsel ve translasyonel engeller bulunduğunu da ortaya koymaktadır.

Akıllı ve Hedeflenmiş Nanopartikül Sistemleri

Gelecekteki araştırmaların önemli bir yönü, uyarıcı-duyarlı nanopartikül sistemlerinin geliştirilmesidir. pH, enzimatik aktivite veya ışık gibi çevresel uyarılara yanıt verebilen nanoyapılar, antimikrobiyal etkinliğin yalnızca enfekte bölgelerde aktive edilmesini mümkün kılarak gereksiz doku maruziyetini azaltmayı hedeflemektedir. Bu yaklaşım, özellikle fotodinamik terapiyle

entegre edilen taşıyıcı sistemlerde klinik güvenlik–etkinlik dengesini iyileştirme potansiyeline sahiptir (Patra & ark., 2018).

Aktivasyon Teknolojileriyle Entegrasyonun Derinleştirilmesi

Nanopartiküllü irrigasyonun geleceğinde, enerji temelli aktivasyon sistemleriyle daha sıkı entegrasyon öne çıkmaktadır. Sonik/ultrasonik ve fotoakustik aktivasyonun, nanopartikül taşınımını ve hedef dokularla temasını artırdığına dair bulgular, bu kombinasyonların protokol düzeyinde optimize edilmesi gerektiğini göstermektedir. Gelecek çalışmaların, aktivasyon parametrelerini (frekans, süre, enerji yoğunluğu) nanopartikül özellikleriyle birlikte ele alan çok değişkenli tasarımlara odaklanması beklenmektedir (Galler & ark., 2019; Virdee & ark., 2020).

Güvenlik, Standardizasyon ve Regülasyon

Nanopartikül temelli irrigasyon ajanlarının klinik kabulü için en kritik alanlardan biri, biyouyumluluk ve sitotoksisite sınırlarının netleştirilmesidir. Gelecekte, yalnızca hücre kültürü çalışmalarına dayalı değerlendirmeler yerine; doku düzeyinde inflamatuvar yanıtları ve uzun dönem biyolojik etkileri inceleyen in vivo ve translasyonel modellerin ön plana çıkması gerekmektedir. Ayrıca nanopartikül boyutu, yüzey yükü ve konsantrasyonu gibi parametreler için standardize edilmiş test protokollerinin oluşturulması, klinik karşılaştırılabilirlik açısından zorunludur (Slavin & ark., 2017).

Klinik Senaryoya Özgü Protokol Geliştirme

Gelecek perspektiflerinin bir diğer önemli boyutu, nanopartiküllü irrigasyonun her vakada rutin kullanım yerine, belirli klinik senaryolara özgü olarak konumlandırılmasıdır. Özellikle:

- persistan enfeksiyonlar,
- biyofilm şüphesi bulunan yeniden tedavi vakaları,

- kompleks anatomili kanallar

gibi durumlarda nanopartikül destekli ve aktive edilmiş irrigasyon protokollerinin rasyonel kullanım alanı bulması beklenmektedir. Bu yaklaşım, nanopartiküllerin “evrensel çözüm” olarak değil, seçici ve hedeflenmiş bir araç olarak değerlendirilmesini sağlayacaktır (Hajipour & ark., 2012).

Klinik Çalışmalar ve Kanıt Düzeyinin Artırılması

Mevcut literatürdeki en önemli eksikliklerden biri, nanopartikül tabanlı irrigasyon sistemlerini değerlendiren randomize kontrollü klinik çalışmaların sınırlı olmasıdır. Gelecekte, klinik sonlanım noktalarını (iyileşme, semptomatik rahatlama, radyografik başarı) içeren iyi tasarlanmış çalışmaların artması, bu teknolojilerin endodontik tedavideki gerçek yerini belirleyecektir. Kanıt düzeyinin yükselmesi, nanopartiküllü irrigasyonun klinik rehberlere entegrasyonu açısından belirleyici olacaktır.

Sonuç

Nanopartikül tabanlı irrigasyon yaklaşımları, endodontik dezenfeksiyonun klasik kimyasal temelli paradigmasını genişleterek, biyofilm ilişkili enfeksiyonların kontrolüne yönelik çok hedefli ve dinamik bir perspektif sunmaktadır. Nanoboyutlu yapıların sağladığı artmış yüzey alanı, biyofilm matriksiyle etkileşim kapasitesi ve taşıyıcı sistemlere entegrasyon potansiyeli; bu ajanların yalnızca alternatif irrigantlar değil, mevcut protokolleri tamamlayıcı fonksiyonel bileşenler olarak değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır. Bununla birlikte, nanopartiküllerin klinik kullanım potansiyeli antimikrobiyal etkinlik kadar, biyoyumluluk, sitotoksikite ve güvenlik sınırlarının net biçimde tanımlanmasına da bağlıdır.

Mevcut kanıtlar, nanopartikül temelli irrigasyonun özellikle kompleks kanal anatomisi, persistan enfeksiyonlar ve biyofilm

varlığıyla karakterize vakalarda rasyonel bir kullanım alanı bulabileceğini düşündürmektedir. Ancak bu yaklaşımın rutin klinik uygulamalara entegrasyonu, standardize edilmiş protokoller, uygun konsantrasyon aralıkları ve uzun dönem biyolojik etkileri ortaya koyan translasyonel ve klinik çalışmalarla desteklenmelidir. Bu çerçevede nanopartiküllü irrigasyon, endodontik tedavide “daha güçlü kimya” arayışından ziyade, hedeflenmiş, kontrollü ve biyolojik olarak dengeli dezenfeksiyon anlayışına geçişin önemli bir göstergesi olarak değerlendirilebilir.

Kaynakça/References

Abdellatif, D., Cernera, M., Cecere, L., Iandolo, A., Rengo, C., Spagnuolo, G., . . . MEYER, C. (2025). Internally Heated Sodium Hypochlorite for Endodontic Irrigation: A Narrative Review of Efficacy and Clinical Applicability. *European Endodontic Journal*, 10(6), 456-465.

Alkhudhairy, F., & AlRefeai, M. H. (2024). Chitosan nanoparticles, Rose Bengal-chitosan activated photodynamic therapy as final irrigant on pushout bond strength, smear layer removal efficacy and antibacterial effectiveness against *E. faecalis*. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, 49, 104316.

Alyahya, A. A., Rekab, M. S., Al-Ostwani, A. E. O., Abdo, A., Kayed, K., Alyahya, A., & ALOSTWANI, A. E. O. (2022). The effect of a novel silver-citrate root canal irrigation solution (BioAkt), Ethylenediamine Tetraacetic Acid (EDTA), and citric acid on the microhardness of root canal dentin: a comparative in vitro study. *Cureus*, 14(11).

Bayda, S., Adeel, M., Tuccinardi, T., Cordani, M., & Rizzolio, F. (2019). The history of nanoscience and nanotechnology: from chemical–physical applications to nanomedicine. *Molecules*, 25(1), 112.

Belkadi, R., Sanz-Serrano, D., Ventura, F., & Mercade, M. (2024). Chitosan-based endodontic irrigation solutions and TGF- β 1 treatment: Creating the most favourable environment for the survival and proliferation of stem cells of the apical papilla in vitro. *International Endodontic Journal*, 57(10), 1492-1504.

Besinis, A., De Peralta, T., & Handy, R. D. (2014). The antibacterial effects of silver, titanium dioxide and silica dioxide nanoparticles compared to the dental disinfectant chlorhexidine on *Streptococcus mutans* using a suite of bioassays. *Nanotoxicology*, 8(1), 1-16.

Boutsioukis, C., Verhaagen, B., Versluis, M., Kastrinakis, E., & Van Der Sluis, L. (2010). Irrigant flow in the root canal: experimental validation of an unsteady Computational Fluid Dynamics model using high-speed imaging. *International Endodontic Journal*, 43(5), 393-403.

Cheung, A. W. T., Lee, A. H. C., & Cheung, G. S. P. (2021). Clinical efficacy of activated irrigation in endodontics: a focused review. *Restorative dentistry & endodontics*, 46(1).

da Silva, E. J. N. L., da Silva, D. V. F., dos Santos Massa, G., de Paula Coelho, B., Sassone, L. M., Versiani, M. A., & Barbosa, A. F. A. (2025). Improved Root Canal Disinfection through Extended NaOCl Exposure and Renewal After Preparation Procedures. *Journal of endodontics*.

de Gregorio, C., Estevez, R., Cisneros, R., Heilborn, C., & Cohenca, N. (2009). Effect of EDTA, sonic, and ultrasonic activation on the penetration of sodium hypochlorite into simulated lateral canals: an in vitro study. *Journal of endodontics*, 35(6), 891-895.

de Paz, L. C. (2007). Redefining the persistent infection in root canals: possible role of biofilm communities. *Journal of endodontics*, 33(6), 652-662.

Didar, A. A., Ghadimi, S., Yousefbeigi, A., Farahani, P., Bahman, Z., Khajeh Salehani, H., & Asgari, Z. (2025). Antibacterial properties of bioengineered silver nanoparticles from *Pastinaca sativa* against *Enterococcus faecalis* biofilms in endodontic therapy. *Scientific Reports*, 15(1), 39600.

Ebrahim, M. I., Hadhoud, F. M., Alqarni, A. A., Al Harthi, S. M., & Shawli, H. T. (2024). Influence of final irrigation with titanium dioxide and silver nanoparticles on the fracture resistance of endodontically treated roots. *The Saudi Dental Journal*, 36(12), 1549-1552.

Eldeeb, I. M., Nawar, N. N., Saber, S. M., Hassanein, E. E.-S., & Schäfer, E. (2021). Smear layer removal and sealer penetration with different tapers after using photon-initiated photoacoustic streaming technique. *Clinical oral investigations*, 25(8), 5025-5032.

Flemming, H.-C., Wingender, J., Szewzyk, U., Steinberg, P., Rice, S. A., & Kjelleberg, S. (2016). Biofilms: an emergent form of bacterial life. *Nature Reviews Microbiology*, 14(9), 563-575.

Flemming, H.-C., & Wuerzt, S. (2019). Bacteria and archaea on Earth and their abundance in biofilms. *Nature Reviews Microbiology*, 17(4), 247-260.

Frigaard, J., Jensen, J. L., Galtung, H. K., & Hiorth, M. (2022). The potential of chitosan in nanomedicine: An overview of the cytotoxicity of chitosan based nanoparticles. *Frontiers in pharmacology*, 13, 880377.

Galler, K., Grubmüller, V., Schlichting, R., Widbiller, M., Eidt, A., Schuller, C., . . . Buchalla, W. (2019). Penetration depth of irrigants into root dentine after sonic, ultrasonic and photoacoustic activation. *International Endodontic Journal*, 52(8), 1210-1217.

Gulabivala, K., Patel, B., Evans, G., & Ng, Y. L. (2005). Effects of mechanical and chemical procedures on root canal surfaces. *Endodontic topics*, 10(1), 103-122.

Haapasalo, M., Shen, Y., Qian, W., & Gao, Y. (2010). Irrigation in endodontics. *Dental Clinics*, 54(2), 291-312.

Haapasalo, M., Shen, Y., Wang, Z., & Gao, Y. (2014). Irrigation in endodontics. *British dental journal*, 216(6), 299-303.

Hajipour, M. J., Fromm, K. M., Ashkarran, A. A., de Aberasturi, D. J., de Larramendi, I. R., Rojo, T., . . . Mahmoudi, M. (2012). Antibacterial properties of nanoparticles. *Trends in biotechnology*, 30(10), 499-511.

Huang, S., Gao, S., Cheng, L., & Yu, H. (2011). Remineralization potential of nano-hydroxyapatite on initial enamel lesions: an in vitro study. *Caries research*, 45(5), 460-468.

Hülsmann, M., Beckmann, C., & Baxter, S. (2021). Debris removal using a hydroxyapatite nanoparticle-containing solution (Vector Polish) with sonic or ultrasonic agitation. *Materials*, 14(16), 4750.

Hülsmann, M., Rummelin, C., & Schäfers, F. (1997). Root canal cleanliness after preparation with different endodontic handpieces and hand instruments: a comparative SEM investigation. *Journal of endodontics*, 23(5), 301-306.

Ibrahim, A., Moodley, D., Uche, C., Maboza, E., Olivier, A., & Petrik, L. (2021). Antimicrobial and cytotoxic activity of electrosprayed chitosan nanoparticles against endodontic pathogens and Balb/c 3T3 fibroblast cells. *Scientific Reports*, 11(1), 24487.

Ilhan, H., Cakici, E. B., & Cakici, F. (2024). The comparative of chitosan and chitosan nanoparticle versus ethylenediaminetetraacetic acid on the smear layer removal: A systematic review and meta-analysis of in vitro study. *Microscopy Research and Technique*, 87(2), 181-190.

Ivask, A., ElBadawy, A., Kaweeteerawat, C., Boren, D., Fischer, H., Ji, Z., . . . Telesca, D. (2014). Toxicity mechanisms in Escherichia coli vary for silver nanoparticles and differ from ionic silver. *ACS nano*, 8(1), 374-386.

Kishen, A., Shi, Z., Shrestha, A., & Neoh, K. G. (2008). An investigation on the antibacterial and antibiofilm efficacy of cationic nanoparticles for root canal disinfection. *Journal of endodontics*, 34(12), 1515-1520.

Kishen, A., & Shrestha, A. (2015). Nanoparticles for endodontic disinfection. In *Nanotechnology in endodontics: current and potential clinical applications* (pp. 97-119): Springer.

Maezono, H., Klanliang, K., Shimaoka, T., Asahi, Y., Takahashi, Y., Wang, Z., . . . Hayashi, M. (2024). Effects of sodium hypochlorite concentration and application time on bacteria in an ex vivo polymicrobial biofilm model. *Journal of endodontics*, 50(6), 814-819.

Meire, M., & De Moor, R. J. (2024). Principle and antimicrobial efficacy of laser-activated irrigation: A narrative review. *International Endodontic Journal*, 57(7), 841-860.

Mitra, S. B., Wu, D., & Holmes, B. N. (2003). An application of nanotechnology in advanced dental materials. *The Journal of the American Dental Association*, 134(10), 1382-1390.

Niu, L. n., Jiao, K., Qi, Y. p., Yiu, C. K., Ryou, H., Arola, D. D., . . . Tay, F. R. (2011). Infiltration of silica inside fibrillar collagen. *Angewandte Chemie*, 123(49), 11892-11895.

Oncu, A., Celikten, B., Aydın, B., Amasya, G., Tuncay, E., Eskiler, G. G., . . . Sevimay, F. S. (2024). Antibacterial efficacy of silver nanoparticles, sodium hypochlorite, chlorhexidine, and hypochlorous acid on dentinal surfaces infected with *Enterococcus faecalis*. *Microscopy Research and Technique*, 87(9), 2094-2102.

Orozco-Gallego, M. J., Pineda-Vélez, E. L., Rojas-Gutiérrez, W. J., Rincón-Rodríguez, M. L., & Agudelo-Suárez, A. A. (2025).

Effectiveness of Irrigation Protocols in Endodontic Therapy: An Umbrella Review. *Dentistry Journal*, 13(6), 273.

Patra, J. K., Das, G., Fraceto, L. F., Campos, E. V. R., Rodriguez-Torres, M. d. P., Acosta-Torres, L. S., . . . Sharma, S. (2018). Nano based drug delivery systems: recent developments and future prospects. *Journal of nanobiotechnology*, 16(1), 71.

Raghupathi, K. R., Koodali, R. T., & Manna, A. C. (2011). Size-dependent bacterial growth inhibition and mechanism of antibacterial activity of zinc oxide nanoparticles. *Langmuir*, 27(7), 4020-4028.

Rai, M., Yadav, A., & Gade, A. (2009). Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. *Biotechnology advances*, 27(1), 76-83.

Ratih, D. N., Sari, N. I., Santosa, P., & Kaswati, N. M. N. (2020). Time-dependent effect of chitosan nanoparticles as final irrigation on the apical sealing ability and push-out bond strength of root canal obturation. *International Journal of Dentistry*, 2020(1), 8887593.

Rengaraj, K., Paramasivan, M., Perumal, G., Thakur, G., Li, W., Severson, K., . . . Li, X.-J. (2025). Nanotechnology-based electrochemical approach for effective root canal irrigation. *Journal of Microbiological Methods*, 107189.

Rodrigues, C. T., De Andrade, F., De Vasconcelos, L., Midena, R. Z., Pereira, T. C., Kuga, M. C., . . . Bernardineli, N. (2018). Antibacterial properties of silver nanoparticles as a root canal irrigant against *Enterococcus faecalis* biofilm and infected dentinal tubules. *International Endodontic Journal*, 51(8), 901-911.

Ruksakiet, K., Hanák, L., Farkas, N., Hegyi, P., Sadaeng, W., Czumbel, L. M., . . . Varga, G. (2020). Antimicrobial efficacy of chlorhexidine and sodium hypochlorite in root canal disinfection: a

systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of endodontics*, 46(8), 1032-1041. e1037.

Salata, O. V. (2004). Applications of nanoparticles in biology and medicine. *Journal of nanobiotechnology*, 2(1), 3.

Shrestha, A., & Kishen, A. (2014). Antibiofilm efficacy of photosensitizer-functionalized bioactive nanoparticles on multispecies biofilm. *Journal of endodontics*, 40(10), 1604-1610.

Singh, G., & Qutieshat, A. (2021). Zinc oxide nanoparticles and blue light enhance sodium hypochlorite disinfection against *Enterococcus faecalis*: an in vitro study. *Giornale Italiano di Endodonzia*.

Slavin, Y. N., Asnis, J., Häfeli, U. O., & Bach, H. (2017). Metal nanoparticles: understanding the mechanisms behind antibacterial activity. *Journal of nanobiotechnology*, 15(1), 65.

Souza, M. A., Hoffmann, I. P., Menchik, V. H. S., Zandoná, J., Dias, C. T., Palhano, H. S., . . . Rossato-Grando, L. G. (2019). Influence of ultrasonic activation using different final irrigants on antimicrobial activity, smear layer removal and bond strength of filling material. *Australian Endodontic Journal*, 45(2), 209-215.

Svensäter, G., & Bergenholtz, G. (2004). Biofilms in endodontic infections. *Endodontic topics*, 9(1), 27-36.

Şengül, S., Ozturk, S., Ulubayram, K., Pekel Bayramgil, N., & Kucukkaya Eren, S. (2024). Effect of final irrigation protocols with chitosan nanoparticle and genipin on dentine against collagenase degradation: An ex-vivo study. *International Endodontic Journal*, 57(4), 477-489.

Van der Sluis, L., Versluis, M., Wu, M., & Wesselink, P. (2007). Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *International Endodontic Journal*, 40(6), 415-426.

Violich, D., & Chandler, N. (2010). The smear layer in endodontics—a review. *International Endodontic Journal*, 43(1), 2-15.

Virdee, S., Farnell, D., Silva, M., Camilleri, J., Cooper, P., & Tomson, P. (2020). The influence of irrigant activation, concentration and contact time on sodium hypochlorite penetration into root dentine: an ex vivo experiment. *International Endodontic Journal*, 53(7), 986-997.

Wennerberg, A., & Albrektsson, T. (2010). On implant surfaces: a review of current knowledge and opinions. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 25(1).

Wu, D., Fan, W., Kishen, A., Gutmann, J. L., & Fan, B. (2014). Evaluation of the antibacterial efficacy of silver nanoparticles against *Enterococcus faecalis* biofilm. *Journal of endodontics*, 40(2), 285-290.

Zehnder, M. (2006). Root canal irrigants. *Journal of endodontics*, 32(5), 389-398.

BÖLÜM 10

ENDODONTİDE ANTİBİYOTİK KULLANIMI

1. Doç.Dr. İhsan Furkan ERTUĞRUL

Endodontik enfeksiyonlar, kök kanal sisteminin anatomik karmaşıklığı ve polimikrobiyal yapısı nedeniyle diş hekimliği pratiğinde ayrıcalıklı bir yere sahiptir. Antibiyotikler tarihsel olarak enfeksiyonla özdeşleştirildiği için, endodontik sorunlarda uzun süre refleks biçimde reçete edilmiştir. Ancak güncel bilimsel veriler, endodontik enfeksiyonların büyük çoğunluğunda antibiyotiklerin gerekli olmadığını, hatta yanlış kullanıldığında biyolojik ve toplumsal açıdan zararlı olabileceğini göstermektedir (1–3). Modern endodontinin temel amacı, enfeksiyonu sistemik olarak baskılamak değil, enfekte kök kanal içeriğini ortadan kaldırmaktır.

Endodontik enfeksiyonlarda antibiyotik, tedavinin temeli değil istisnasıdır; esas başarı enfeksiyon kaynağının lokal olarak elimine edilmesine bağlıdır.

Endodontik Enfeksiyonların Mikrobiyolojik Ekolojisi

Kök kanal enfeksiyonları, kapalı bir ekosistem içinde gelişen karmaşık mikrobiyal topluluklar tarafından oluşturulur. Pulpa nekrozu sonrasında oksijen basıncının düşmesi, zorunlu anaerobların baskın hale gelmesine yol açar. Mikroorganizmalar

Doçent Doktor, Pamukkale Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi,
Endodonti, 0000-0001-7583-6679

biyofilm organizasyonu sayesinde antibiyotiklere ve konak savunmasına karşı korunur (5,9). Bu biyolojik gerçeklik, antibiyotiklerin sınırlı etkinliğini açıklar.

Mikrobiyal ekoloji göz önüne alındığında, biyofilm varlığında antibiyotik yerine mekanik ve kimyasal dezenfeksiyon önceliklidir.

Biyofilm ve Antimikrobiyal Direnç

Biyofilm içindeki bakteriler, planktonik formlara kıyasla antibiyotiklere çok daha dirençlidir. Bu direnç yalnızca genetik değil, aynı zamanda biyofilmin fiziksel bariyer özelliğine bağlıdır (9). Antibiyotikler metabolik olarak aktif hücreler üzerinde etkiliyken, biyofilm içindeki bakteriler çoğu zaman inaktiftir.

Klinik mesaj: Biyofilm ilişkili endodontik enfeksiyonlarda antibiyotik reçetesi klinik başarıyı artırmaz, yanlış bir güven hissi yaratır.

Kök Kanal Anatomisinin Klinik Önemi

Kök kanal sistemindeki lateral kanallar, isthmuslar ve apikal delta bölgeleri, bakterilerin mekanik temizlemeden kaçmasına olanak tanır. Bu mikroanatomik alanlar aynı zamanda irrigasyon dinamiklerini de zorlaştırır; dolayısıyla dezenfeksiyon “erişilebilirlik” sorunu üzerinden düşünülmelidir (6). Sistemik antibiyotikler bu bölgelerde yeterli konsantrasyona ulaşamaz. Bu nedenle klinik başarı, mekanik preparasyon ve irrigasyon etkinliğine

bağlıdır. Karmaşık kanal anatomisi, antibiyotik ihtiyacını değil irrigasyon ve aktivasyon tekniklerinin önemini artırır.

Farmakokinetik Sınırlılıklar

Nekrotik pulpa dokusu avaskülerdir ve sistemik antibiyotiklerin hedef bölgeye ulaşmasını engeller. Bu nedenle antibiyotikler, enfeksiyon odağını değil çoğu zaman yalnızca çevre dokulardaki inflamatuvar yanıtı etkileyebilir (4). Bu durum, antibiyotiklerin enfeksiyon kaynağını ortadan kaldıramamasının temel nedenidir.

Antibiyotiklerin kök kanal içeriğine ulaşamadığı unutulmamalı, farmakolojik çözüm beklentisinden kaçınılmalıdır.

Klinik Endikasyon Kavramı

Antibiyotik kullanımı yalnızca sistemik tutulum bulguları varlığında endikedir. Lokalize endodontik enfeksiyonlarda antibiyotik kullanımı bilimsel dayanak taşımamaktadır; kılavuzlar bu konuda nettir (1,2). Endikasyonun belirlenmesinde ateş, trismus, yaygın selülit, lenfadenopati ve genel durum bozukluğu gibi bulguların varlığı kritik önem taşır (1–3).

Ateş, yaygın şişlik veya sistemik bulgu yoksa antibiyotik reçetesi endike değildir.

Akut Apikal Apse

Doçent Doktor, Pamukkale Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti, 0000-0001-7583-6679

Akut apikal apselerde temel tedavi drenajdır. Drenaj, eksüdanın boşaltılmasıyla basıncı düşürür ve ağrı kontrolünü hızlandırır; aynı zamanda lokal dezenfeksiyonun etkinliğini artırır. Antibiyotikler, drenaj sağlanmadan uygulandığında klinik iyileşmeyi geciktirebilir ve “kaynak kontrolü” ilkesini zayıflatır (1,2,7). Akut apse de doğru müdahale antibiyotik değil, etkili drenaj ve kanal dezenfeksiyonudur.

Kronik Periapikal Lezyonlar

Kronik lezyonlar organize biyofilm yapıları nedeniyle antibiyotiklere dirençlidir. İyileşme ancak kök kanal tedavisinin biyolojik prensiplere uygun yürütülmesiyle mümkündür; gereksiz antibiyotik, hastayı yanıltıcı bir “tedavi edildi” algısına sürükleyebilir (5,9). Kronik lezyonlarda antibiyotik yerine sabırlı ve biyolojik prensiplere uygun kanal tedavisi gereklidir.

Lokal Antibiyotik Uygulamaları

Lokal antibiyotiklerin teorik avantajlarına rağmen, direnç ve toksisite riskleri klinik kullanımını sınırlar. Ayrıca lokal uygulamaların standardizasyonu güçtür; konsantrasyon, taşıyıcı sistem ve maruziyet süresi klinik sonuçları belirgin biçimde etkiler (8). Lokal antibiyotikler, rutin endodontik tedavinin “standart bileşeni” olarak görülmemeli; seçilmiş durumlarda ve kanıt düzeyi gözetilerek değerlendirilmelidir.

Doçent Doktor, Pamukkale Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti, 0000-0001-7583-6679

Rejeneratif Endodontide Antibiyotikler

Rejeneratif endodontide kullanılan antibiyotik karışımları, kanal içi biyoyükü azaltmada etkili olabilir; ancak kök gelişimini sağlayacak hücresel nişi olumsuz etkileyebilecek sitotoksikite riski taşır. Bu nedenle antibiyotik konsantrasyonu, uygulama süresi ve alternatif dezenfektanların seçimi, rejeneratif protokolün başarısında belirleyicidir (10,11). Rejeneratif vakalarda antibiyotik konsantrasyonu ve süresi dikkatle sınırlandırılmalı; hedef “sterilizasyon” değil, doku uyumu korunarak biyoyükün azaltılması olmalıdır.

Antimikrobiyal Direnç ve Toplum Sağlığı

Diş hekimliğinde gereksiz antibiyotik reçeteleri, küresel direnç sorununa katkıda bulunmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü’nün 2015 Küresel Eylem Planı, antimikrobiyal direnci çok sektörlü bir kriz olarak ele alır ve akılcı reçetelemeyi temel stratejilerden biri olarak tanımlar (12). Diş hekimliği alanındaki yanlış reçeteleme davranışının, topluma yayılan etkisi göz ardı edilemez (13,14). Her antibiyotik reçetesi bireysel değil, toplumsal bir etki yaratır; endodontist bu sorumluluğun farkında olmalıdır.

Klinik Kılavuzlar

Uluslararası kılavuzlar antibiyotik kullanımını net biçimde sınırlandırmaktadır (1,2). Buna rağmen klinik pratikte “hasta beklentisi”, “zaman baskısı” ve “ağrı-şişlik algısının yanlış yorumlanması” gibi nedenlerle aşırı reçeteleme görülebilmektedir (13,14). Kılavuz uyumu, bilimsel doğruluğun yanı sıra hukuki ve etik güvence sağlar. Güncel kılavuzlara uyum, hem bilimsel hem de hukuki güvence sağlar.

Pediyatrik Endodonti

Çocuk hastalarda antibiyotik kullanımı daha da sınırlı olmalıdır. Farmakokinetik farklılıklar, advers etki riski ve gereksiz antibiyotik maruziyetinin uzun dönemli toplumsal sonuçları pediyatrik grupta daha kritik hale gelir. Endodontik kaynak kontrolü ve uygun drenaj yaklaşımları, çoğu durumda antibiyotik gereksinimini ortadan kaldırır (1,2). Pediyatrik vakalarda antibiyotik son seçenek olarak değerlendirilmelidir; endikasyon yoksa “güvende olmak için” yazmak doğru değildir.

Gebelikte Antibiyotik Kararları

Gebelikte antibiyotik seçimi, fetal güvenlik açısından dikkat gerektirir. Endodontik girişimler, mümkün olan her durumda kaynak kontrolüne dayandırılmalı; antibiyotik endikasyonu varsa risk-yarar dengesi gözetilerek kılavuzlara uygun ilaç seçimi yapılmalıdır (1,2). Gebe hastalarda mümkün olan her durumda farmakolojik tedaviden

kaçınılmalı; endikasyon varsa en güvenli seçenekler tercih edilmelidir.

Antibiyotiklere Alternatif Yaklaşımlar

Kanal dezenfeksiyonunda sodyum hipoklorit temelli irrigasyon, smear tabakasının yönetimi ve irrigasyon aktivasyonu, antibiyotik ihtiyacını önemli ölçüde azaltır (6). Ara seans medikamentler ve protokole uygun irrigasyon, biyoyükü azaltmada anahtar rol oynar. Etkin irrigasyon ve ara medikamentler, antibiyotik ihtiyacını büyük ölçüde ortadan kaldırır; “antibiyotik yerine proses kalitesi” düşünülmelidir.

Eğitim ve Reçeteleme Davranışı

Reçeteleme alışkanlıkları eğitim sürecinde şekillenir. Klinik karar verme, yalnızca farmakoloji bilgisi değil; endikasyon okuryazarlığı, hasta iletişimi ve risk yönetimi gerektirir. Dış hekimliğinde antibiyotik reçeteleme davranışlarını değerlendiren çalışmalar, kılavuz dışı reçetelemeyi azaltmak için eğitim ve geri bildirim mekanizmalarının etkili olabileceğini göstermektedir (13,14). Antibiyotik bilinci, klinik beceriler kadar erken dönemde kazandırılmalı; “rutin reçete” davranışı eğitimle kırılmalıdır.

Etik ve Gelecek Perspektifi

Doçent Doktor, Pamukkale Üniversitesi Dış Hekimliği Fakültesi, Endodonti, 0000-0001-7583-6679

Gereksiz antibiyotik kullanımı etik ve hukuki sorunlar doğurur. Ayrıca antibiyotiğin “geciktirme aracı” olarak kullanılması, kaynağın kontrolünü öteleyen bir tutum olup hasta yararı ilkesine aykırıdır. Gelecekte endodontide antibiyotik kullanımı daha da sınırlı, kanıta dayalı ve seçici olacaktır (1–3,12). Bilimsel gerekçe olmadan yazılan her antibiyotik, mesleki sorumluluk ihlalidir; doğru yaklaşım kılavuz temelli karar ve etkin kaynak kontrolüdür.

Kaynakça

1. American Association of Endodontists. (2017). AAE position statement: AAE guidance on the use of systemic antibiotics in endodontics. *Journal of Endodontics*, 43(9), 1409–1413. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2017.08.015>
2. Segura-Egea, J. J., Gould, K., Şen, B. H., Jonasson, P., Cotti, E., Mazzoni, A., Sunay, H., Tjäderhane, L., & Dummer, P. M. H. (2018). European Society of Endodontology position statement: The use of antibiotics in endodontics. *International Endodontic Journal*. <https://doi.org/10.1111/iej.12781>
3. Segura-Egea, J. J., Gould, K., Şen, B. H., Jonasson, P., Cotti, E., Mazzoni, A., Sunay, H., Tjäderhane, L., & Dummer, P. M. H. (2017). Antibiotics in endodontics: A review. *International Endodontic Journal*, 50(12), 1169–1184. <https://doi.org/10.1111/iej.12741>
4. Abbott, P. V. (2000). Selective and intelligent use of antibiotics in endodontics. *Australian Endodontic Journal*, 26(1), 30–39. <https://doi.org/10.1111/j.1747-4477.2000.tb00149.x>
5. Nair, P. N. R. (2004). Pathogenesis of apical periodontitis and the causes of endodontic failures. *Critical Reviews in Oral Biology & Endodontics*, 0000-0001-7583-6679, 21--

6. Zehnder, M. (2006). Root canal irrigants. *Journal of Endodontics*, 32(5), 389–398. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2005.09.014>
7. Robertson, D., & Smith, A. J. (2009). The microbiology of the acute dental abscess. *Journal of Medical Microbiology*, 58(Pt 2), 155–162. <https://doi.org/10.1099/jmm.0.003517-0>
8. Mohammadi, Z., & Abbott, P. V. (2009). On the local applications of antibiotics and antibiotic-based agents in endodontics and dental traumatology. *International Endodontic Journal*, 42(7), 555–567. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2009.01564.x>
9. Ricucci, D., & Siqueira, J. F., Jr. (2010). Biofilms and apical periodontitis: Study of prevalence and association with clinical and histopathologic findings. *Journal of Endodontics*, 36(8), 1277–1288. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.04.007>
10. Sato, I., Ando-Kurihara, N., Kota, K., Iwaku, M., & Hoshino, E. (1996). Sterilization of infected root-canal dentine by topical application of a mixture of ciprofloxacin, metronidazole and minocycline in situ. *International Endodontic Journal*, 29(2), 118–124. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.1996.tb01172.x>
11. Ruparel, N. B., Teixeira, F. B., Ferraz, C. C. R., & Diogenes, A. (2012). Direct effect of intracanal medicaments on survival of stem cells of the apical papilla. *Journal of Endodontics*, 38(10), 1372–1375. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.06.018>
12. World Health Organization. (2015). Global action plan on antimicrobial resistance. World Health Organization.

13. Cope, A. L., Francis, N. A., Wood, F., & Chestnutt, I. G. (2016). Antibiotic prescribing in UK general dental practice: A cross-sectional study. *Community Dentistry and Oral Epidemiology*, 44(2), 145–153. <https://doi.org/10.1111/cdoe.12199>
14. Palmer, N. O., Martin, M. V., Pealing, R., & Ireland, R. S. (2000). An analysis of antibiotic prescriptions from general dental practitioners in England. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 46(6), 1033–1035. <https://doi.org/10.1093/jac/46.6.1033>

GEÇİCİ KAPAK

*Kapak tasarımı
devam ediyor.*