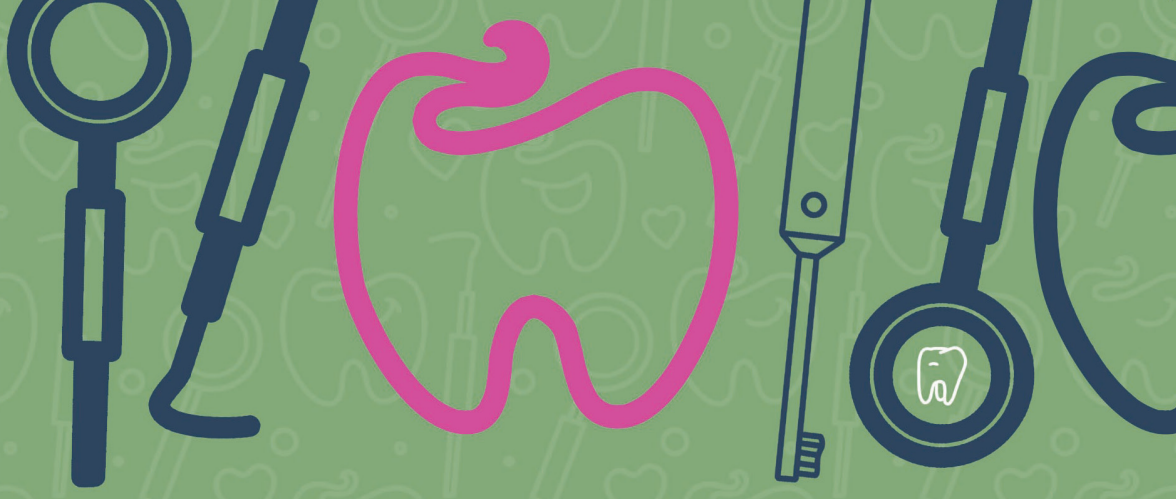




ARALIK 2025

ENDODONTİ

ALANINDA ULUSLARARASI
DERLEME, ARAŞTIRMA VE
ÇALIŞMALAR

EDİTÖR:

DOÇ. DR. EVREN SARIYILMAZ

Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • C. Cansın Selin Temana

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

Birinci Basım / First Edition • © Aralık 2025

ISBN • 978-625-8559-35-4

© copyright

Bu kitabın yayın hakkı Serüven Yayınevi'ne aittir.

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

Serüven Yayınevi / Serüven Publishing

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

Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA

Telefon / Phone: 05437675765

web: www.seruvenyayinevi.com

e-mail: seruvenyayinevi@gmail.com

Baskı & Cilt / Printing & Volume

Sertifika / Certificate No: 47083

ENDODONTİ ALANINDA ULUSLARARASI DERLEME, ARAŞTIRMA VE ÇALIŞMALAR

Editör

Doç. Dr. Evren Sarıyılmaz

İçindekiler

Bölüm 1

ENDODONTİDE ALET KIRILMASI..... 7

Ahmet Demirhan UYGUN
Mustafa Mertcan DELİKTAŞ
Ali ÇINAR

Bölüm 2

ENDODONTİK TEDAVİDE KRİYOTERAPİ: MEKANİZMA VE KLİNİK UYGULAMALAR..... 35

Merve Çoban Öksüzer
Özge Başar

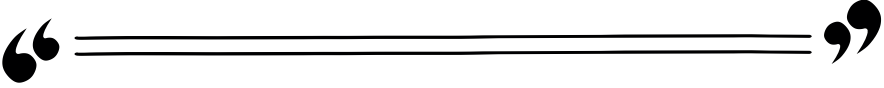
Bölüm 3

ENDODONTİK İNFLAMASYONUN MOLEKÜLER VE İMMÜNOLOJİK DEĞERLENDİRİLMESİNDE MATRİKS METALLOPROTEİNAZLAR..... 47

Esin ÖZLEK



ENDODONTİDE ALET KIRILMASI



Ahmet Demirhan UYGUN¹

Mustafa Mertcan DELİKTAŞ²

Ali ÇINAR³

¹ Ahmet Demirhan UYGUN, Doç. Dr., Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti A.D., Orcid no: 0000-0001-5704-183X

² Mustafa Mertcan DELİKTAŞ, Ar. Gör., Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti A.D., Orcid no: 0009-0001-8572-1493

³ Ali ÇINAR, Ar. Gör., Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti A.D., Orcid no: 0009-0007-1748-571X

Kök kanal tedavisinde kemomekanik preparasyon sırasında kanalları şekillendirmek için eğeler kullanılmaktadır. Bu eğeler farklı metalürjilerde, tasarımlarda olup farklı teknik ve cihazlarla beraber kullanılmaktadır. Günümüzdeki endodonti bilimindeki tüm ilerlemelere rağmen eğeler kök kanal tedavisi esnasında kırılıp kök kanal sistemi içinde kalabilmektedir. Panitvisai ve arkadaşları tarafından (Panitvisai, Parunnit, Sathorn, & Messer, 2010) yapılmış oldukları sistematik derleme ve metananaliz çalışmasına göre, kırık bir eğe parçasının kök kanal sisteminde kalmasının kanal tedavisinin prognozu-na anlamlı bir etkisi olmadığını belirtilmiş olsa da klinisyenler için halen en can sıkıcı durumlardan bir tanesidir. Endodontide kullanılan çok sayıdaki aletlerin, kırılma sıklığı ve hangi vakada ne şekilde oluştuğu ile ilgili olarak sınırlı sayıda makale vardır. Sonuç olarak alet kırılmasının maalesef ne zaman ve hangi şartlarda kesin olarak gerçekleşeceği tahmin edilemese de bazı faktörlerin bu durumu etkilediği bilinmektedir (Medicine, 2022).

1. ALET KIRILMASININ MEKANİZMASI

Kök kanal tedavisinde kullanılan aletler ağırlıklı olarak paslanmaz çelik ve Nikel-Titanyum (NiTi) olmak üzere 2 farklı alaşımdan üretilmektedirler. Ancak kök kanal tedavisinde eski tarihlerde sadece paslanmaz çelik eğeler kullanılmaktaydı. Döner eğe sistemlerinin kullanılmaya çalışılması ile beraber ilerleyen süreçte hem alet kırılmaları hem de dişte geri dönülemeyecek zararlar (perforasyon, basamak oluşumu vb) görülmeye başlandı. Bu durumun neticesinde döner sistemlerle beraber kök kanal tedavisinde kullanılacak aletlerde daha uygun alaşımlar araştırılmaya başlandı, ve bu süreçle NiTi aletlerin geliştirilmesiyle sonuçlandı.

Endodontik alanda bugün yaygın olarak kullanılan nikel-titanyum (NiTi) alaşımlı enstrümanların kökeni, 1960'lı yıllarda Naval Ordnance Laboratuvarı'nda yürütülen materyal geliştirme çalışmalarına dayanmaktadır. Laboratuvarın kısaltması ile alaşımı oluşturan iki metalin birleşiminden türetilen "Nitinol" adı, daha sonra klinik uygulamalarda yerleşik olarak NiTi şeklinde kullanılmaya başlanmıştır. Bu alaşımı değerli kılan temel özellikler, deformasyon sonrası eski formuna dönebilmesini sağlayan şekil hafızası ve yüksek derecede süperelastisite göstermesidir. (Çalışkan K., 2006). NiTi alaşımlı enstrümanların endodontiye girişinin dönüm noktası, Walia ve çalışma ekibinin yaptığı erken dönem araştırmalar olmuş; bu çalışmalar, paslanmaz çelik eğelerin mekanik sınırlılıklarını görünür kılarak araştırmacıların dikkatini NiTi teknolojisine yöneltmiştir. Bu gelişmelerin sonucunda, 1990'lı yıllarda döner sistemlerle uyumlu NiTi eğeleri ticari olarak piyasada yaygınlaşmış ve kısa sürede geniş kabul görmüştür. Klinik ve mekanik testler, NiTi eğelerin paslanmaz çelik aletlere kıyasla yaklaşık iki ila üç kat daha yüksek elastik esneklik sağladığını göstermiştir; bu da özellikle eğri kanalların preparasyonunda belirgin bir avantaj oluşturmuştur (Parashos, Gordon, & Messer, 2004). Kalıcı deformasyon ve potansiyel kırılmaya ilişkin görünür uyarı

işaretleri, NiTi döner aletlerden ziyade elle kullanılan paslanmaz çelik eğelerinde daha sık görülür. Döner NiTi aletler ise herhangi bir uyarı olmaksızın kırılmayla ilişkilendirilmiştir (Zuolo & Walton, 1997) . Literatürde Döner NiTi aletlerin kırılmasının başlıca iki farklı mekanizma ile gerçekleştiği belirtilmiştir. Bu mekanizmalar Torsiyonel ve Fleksürel olarak ifade edilir. Ayrıca son yıllarda NiTi aletlerin korozyona uğraması sonucunda da kırıldığı kabul edilmektedir.

1.1. Torsiyonel Kırılma (burulma)

Kök kanal enstrümanlarında görülen torsiyonel kırık, motorun sap kısmını döndürmeye devam ettiği bir anda, eğenin özellikle apikal bölgesinin kanal duvarlarına sıkışması sonucu oluşur. Egede kırılma meydana gelebilmesi için alaşımın elastik sınırının aşılmış olması gerekmektedir. Aşırı burulma nedeniyle kırılan aletler, gevşeme, düzleşme ve bükülme gibi plastik deformasyon belirtilerini ortaya çıkarır. Kanal aletinin aşırı torsiyonel kuvvete maruz kalıp kırılma gerçekleşmemiş ise yivlerin açıldığı görülür. Buna da torsiyonel deformasyon denir (Sattapan, Nervo, Palamara, & Messer, 2000). Crown-down preparasyon tekniğinin, öncelikli olarak koronal diş dokusunu şekillendireceğinden ve oluşan genişlikten dolayı alet sıkışmasının önüne geçeceği iddia edilmiştir (Sattapan et al., 2000). Kırılmaya neden olan bu sıkışma taper-lock olarak ifade edilir (Blum, Machtou, & Micallef, 1999).

1.2. Fleksürel Kırılma (bükülme)

Fleksürel kırık, diğer adıyla döngüsel yorgunluk, eğenin eğimli veya belirgin eğrilik gösteren bir kanal içerisinde serbest biçimde dönerken, en çok bükülen noktada art arda meydana gelen çekme ve basınç gerilmelerinin zamanla birikmesi sonucu ortaya çıkan kırık tipidir. Kanalın eğriliği nedeniyle her dönüşte tekrarlayan bu stres döngülerinin, aletin metal yapısında yorgunluğa yol açtığı ve kullanım süreci ilerledikçe döngüsel dayanımı azalttığı bildirilmektedir (Peters, Peters, Schönenberger, & Barbakow, 2003).

Literatür, döner NiTi alet kırığının etiyolojisinde Torsiyonel ve/veya fleksürel yorgunluğunun göreceli önemi konusunda tutarsızdır. Bazı çalışmalar aletlerin çoğunluğunun fleksürel yorgunluğundan dolayı kırıldığını bildirmiştir, bu da aşırı kullanımın en önemli başarısızlık mekanizması olduğunu ima etmektedir (Parashos, Gordon, & Messer, 2004; Cheung, Peng, Bian, Shen, & Darvell, 2005; Peng, Shen, Cheung, & Xia, 2005). Bir mikro çatlak bir kez başladığında (yorulma-çatlak büyüme oranları NiTi alaşımlarında benzer mukavemete sahip diğer metallere göre daha yüksektir) hızlı bir şekilde yayılarak yıkıcı bir başarısızlığa neden olduğu iddia edilmiştir (Cheung et al., 2005). Bunun tersine diğer çalışmalarda torsiyonel kırılması baskın kırılma şekli olarak sınıflandırılmıştır (Sattapan, Nervo, Palamara, & Messer, 2000). Torsiyonel başarısızlığın enstrümantasyon sırasında aşırı apikal kuvvet uygulanmasının veya kanalın aşırı eğriliğinin bir sonucu olduğunu belirtti. Ge-

nellikle aletin boyutu (kalınlığı ve konikliği) arttıkça aletlerin burulma hatası azalır, eğilme hatası ise artar (Haikel, Serfaty, Bateman, Senger, & Allemann, 1999). Farklı alaşımlara sahip birebir aynı tasarıma sahip aletlerin döngüsel yorulma dirençleri farklı olmaktadır (Uygun et al., 2016).

1.3. Korozyon Kırılma

Son yıllarda kanal aletlerinin torsiyonel ve fleksürel kırılma ilave olarak korozyon sonucunda da kırıldığı var sayılmaktadır, veya diğer kırılma tiplerini kolaylaştırdığı da söylenebilir. Sodyum hipoklorit gibi bir takım dezenfaktan solüsyonlarında aletin kırılma direncini etkilediği gösterilmiştir (O'Hoy, Messer, & Palamara, 2003).

2. KIRIĞA NEDEN OLAN FAKTÖRLER

NiTi enstrümanlarının kırılma riskini tek bir değişkene bağlamak mümkün değildir; çünkü bu süreç pek çok unsurun ortak etkisiyle şekillenir. Klinisyenin deneyim düzeyi, seçilen preparasyon yaklaşımı, motor ayarları ve kullanım şekli, eğenin kaç kez kullanıldığı, tasarım ve üretim özellikleri, kök kanalının anatomik yapısı, alaşımın metalurjik karakteri ve aletin maruz kaldığı sterilizasyon döngülerinin sayısı, kırık oluşumuna katkıda bulunan başlıca faktörler arasında yer almaktadır. Bu faktörlerin kırılmaya katkıları açısından göreceli önemini belirlemek için girişimlerde bulunulmuştur (Martín et al., 2003; Ohri et al., 2024).

2.1. Operatör Becerisi/Deneyimi

Operatör deneyimi, klinik alet kırığı insidansı ile ilgili olarak sürekli olarak rapor edilen bir faktördür (Ohri et al., 2024). Diğer faktörler (cihaz hızı ve sırası, kanal morfolojisi) sabit kaldığında, operatörün yeteneği enstrümantasyon hatalarında kilit rol oynamaktadır (Di Fiore, 2007). Operatörün önemi benzer çalışmalarda da doğrulanmıştır (Madarati, 2019). Bununla birlikte, deneyimli ve deneyimsiz operatörler arasında kırılma oranında önemli bir fark da bildirilmemiştir, karmaşık vakaların daha yetkin operatöre tahsis edilmesine atfedilen bir bulgudur (Yon, Tang, & Cheung, 2021). Her döner NiTi sisteminin bir 'öğrenme eğrisi' vardır, bu da NiTi endodontik sistemlerin kullanımında uygun eğitimin ve ilk gözetimin önemini vurgular, çünkü bu aletler yanlış veya aşırı kullanılırsa kırılacaktır (Yon et al., 2021).

2.2. Enstrümantasyon Tekniğinin Önemi

Alet kırılma sıklığını azaltmak için bir crown-down enstrümantasyon tekniği (apikal hazırlıktan önce kanalın koronal yönünün genişletilmesi) ve manuel bir glide path oluşturulması (kanalların döner NiTi enstrümantasyondan önce bir SS eğesi ile çalışma uzunluğuna manuel olarak hazırlanması) önerilmiştir (Fan et al., 2025). Bu teknikler, torsiyonel kırılma ile ilişkili alet 'taper lock' veya 'alet sıkışmasını' azaltmaya yardımcı olur. Crown-down

enstrümantasyon, özellikle daha küçük cihazlarda oluşan torsiyonel gerilmeleri azaltır (Jaiswal et al., 2019) ve bir glide path, cihaz üzerindeki tork seviyesini sınırlar ve bu şekilde kesme kırılmasına karşı koruma sağlar (Abu-Tahun et al., 2019).

2.3. Enstrüman Kullanım Dinamikleri

2.3.1. Dönme Hızı

Dönme hızının NiTi enstrümanlarının kırılma eğilimi üzerindeki etkisi konusunda literatürde net bir uzlaş bulunmamaktadır. Bazı araştırmalar, hız değişiminin kırık oranlarını etkilemediğini rapor ederken (Gao, Shotton, Wilkinson, Phillips, & Johnson, 2010) diğer çalışmalar hız arttıkça kırılma olasılığının değişebileceğini öne sürmektedir (Haimed, 2024). Bu çelişkilerin temelinde, çalışmalar arasında kullanılan test protokollerinin, cihaz modellerinin ve operatör deneyimlerinin birbirinden oldukça farklı olması yatmaktadır; dolayısıyla bulguların doğrudan karşılaştırılması güçleşmektedir. Tüm bu değişkenlere rağmen, üretici firmalar döner NiTi sistemlerin güvenli şekilde çalıştırılabilmesi için genellikle 250 ile 600 rpm aralığında bir hız kullanımını tavsiye etmektedir.

2.3.2. Elektrikli Ve Hava Tahrikli El Aletleri

Hava tahrikli ve elektrikli el aletleri karşılaştırıldığında, alet kırılma oranlarında anlamlı bir fark bildirilmemiştir (Kl, Hr, & A, 2001). Bununla birlikte, elektrikli endodontik motorlar sabit ve kontrollü bir devir hızı sağlayabildikleri için döner NiTi enstrümantasyonunda daha öngörülebilir bir performans sunarlar. Buna karşın hava tahrikli el aletlerinde, çalışma basıncına bağlı olarak hızda ani dalgalanmalar meydana gelebilmekte ve bu durum alet üzerindeki mekanik stresin kontrolünü güçleştirmektedir. Güncel döner NiTi ege sistemlerinin üreticileri, hız ve torkun elektronik olarak regüle edilebildiği elektrikli endodontik motorların kullanılmasını standart uygulama olarak önermektedir.

2.3.3.Tork

Tork kontrol özelliğine sahip endomotorların, döner NiTi enstrümanlarla birlikte kullanılmasının daha güvenli olduğu genel kabul görmektedir. Laboratuvar ortamında yapılan bir araştırma, tork ayarı sayesinde eğenin alaşım dayanım sınırlarını aşmadan çalışabildiğini ve bu kontrol mekanizmasının torsiyonel aşırı yüklenmeye bağlı alet kırılmalarını belirgin şekilde azaltabildiğini ortaya koymuştur (Gianluca Gambarini, 2001). Buna karşın klinik çalışmalar, NiTi aletlerin yüksek veya düşük torklu motorlarla kullanımında kırık insidansı açısından anlamlı fark olmadığını bildirmiştir (Gm, Fe, & P, 2001). Başka bir klinik çalışma, üç tork kontrol seviyesini (yüksek, orta ve düşük) NiTi kanal hazırlığı sırasında ve operatörün deneyimsiz olması durumunda kırılma oranlarının düşük tork kontrollü bir motorla azal-

dığını bildirmiştir (Yılmaz, Gökyay, Dağlaroğlu, & Küçükay, 2018). Bununla birlikte, bu çalışma, deneyimli operatörlerin yüksek veya orta tork kontrol-lü bir motor kullandığında hiçbir fark gözlemlememiştir. Tork kontrolünün kullanımı, döner NiTi cihazlarının daha yüksek torkta daha iyi çalıştığını ve otomatik geri dönme işlevinin sık sık devreye girmesinin torsiyonel yor-gunluğu ve arıza riski taşıdığını öne süren bir çalışma (Marinho, Campos, Rodrigues, Gois, & Barreto, 2016) tarafından sorgulanmıştır.

2.4. Kanal Geometrisi Ve Diş Tipi

Döner NiTi enstrümanlarla yapılan döngüsel yorgunluk çalışmalarında, kırığın çoğunlukla simüle edilmiş kök kanalı modellerinde eğriliğin en yo-ğun olduğu bölgede yani aletin en fazla bükülmeye maruz kaldığı noktada, oluştuğu tespit edilmiştir. Özellikle bu testler, eğrilik açısı arttıkça ve eğri-lik yarıçapı azaldıkça, aletin kırılmaya kadar dayanabildiği döngü sayısının azaldığını ortaya koymuştur (Gianluca Gambarini, 2001; Pedullà et al., 2020). Bu bulgu, aletlerin çoğunun maksimum eğrilik ve en küçük çapın yer aldığı apikal üçlüde kırıldığını gösteren klinik araştırmalarla da uyumludur.

İqbal ve ark.(İqbal, Kohli, & Kim, 2006) apikal bölgelerde eğe kırığı olası-lığının, koronal üçlüye göre 33 kat, kökün orta üçte birine göre ise 6 kat daha fazla olduğunu bildirmiştir. Kök kanallarının apikal üçte birinde gözlenen bu kırık artışı, diğer çalışmalarca da doğrulanmıştır (Ruivo et al., 2021). Kavisli kanallarda döner NiTi aletin maruz kaldığı esneme derecesi ne kadar büyük-se, aletin ömrünün o kadar kısaldığı klinik olarak önemlidir.

Kök kanalının morfolojisi karmaşık hâle geldikçe, enstrümanın torsiyo-nel yüklenmeye bağlı olarak zarar görme olasılığı da paralel şekilde yükselir (Fan et al., 2025). Molar dişlerde kanal eğriliğinin yarıçapı genellikle daha kü-çüktür; bu da aletin torsiyonel kuvvetlere direnme kapasitesini azaltır (Kosti, Zinelis, Molyvdas, & Lambrianidis, 2011). Klinik çalışmalarda, alet kırığının azı dişlerinde, ön dişlere göre anlamlı derecede (yaklaşık üç kata kadar) daha sık görüldüğü bildirilmiştir (Ohri et al., 2024). Molar dişlerde eğe kırıklarının nispi artışı diğer çalışmalarda da teyit edilmiştir (Hindlekar, Kaur, Kashikar, & Kotadia, 2023).

Üst molar dişlerin mesiobukkal kanalında alet kırığı görülme olasılığı, distobukkal kanala göre üç kat daha fazladır; bunun, mesiobukkal kanalın daha fazla eğime sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Eski-bağlar, Özata, Ocak, & Öztekin, 2023). Mandibular molar dişlerde ise mesial kökler distolingual yönde eğimli olup, mesiolingual ve mesiobukkal kanallar distal kanala göre daha dardır. Mesiobukkal kök kanalının linguale eğimi, mesiolingual kanaldan daha fazladır; bu nedenle alt molar dişlerde mesio-bukkal kanalda alet kırığı sıklığı, mesiolingual kanala göre yaklaşık üç kat

daha fazladır(Lee et al., 2020) .

2.5. Kullanım Sayısı

2007 yılından bu yana Birleşik Krallık Sağlık Bakanlığı, çapraz enfeksiyon ve teorik prion iletimine ilişkin kaygılar nedeniyle tüm endodontik eğelerin tek kullanımlık olması gerektiğini bildirmiştir (Nield, 2020). Diğer Avrupa ülkelerinde benzer bir yasal düzenleme bulunmadığından, eğelerin kaç kez kullanılacağı çoğunlukla operatörün takdirine bırakılmaktadır. Eğe üreticileri de son yıllarda aletlerin yalnızca tek kullanımlık olması gerektiği görüşünü desteklemekte, hatta bazı yeni eğelere otoklavlama sonrası bozulan ve yeniden kullanılmasını engelleyen özellikler eklemektedir (Reis et al., 2023).

Literatür, özellikle NiTi aletler için kullanım sayısı konusunda net bir rehber sunmamaktadır; zira bu aletlerde hasar çoğu zaman kırılmadan önce klinik olarak fark edilememektedir (Pillay, Vorster, & van der Vyver, 2020). Bununla birlikte, kullanım şekli ne olursa olsun NiTi döner eğelerin tekrarlanan kullanımla eğilme yorgunluk dirençlerinde azalma olduğu ve daha önce kullanılmış bir aletin kırılmasına neden olan torkun, yeni aletlere kıyasla anlamlı derecede düşük olduğu gösterilmiştir (Gürler, Yılmaz, Dumani, & Yoldas, 2024). Şaşırtıcı biçimde, kullanım sayısı ile eğe kırılma sıklığı arasında klinik düzeyde net bir ilişki kurulamamıştır (Yon et al., 2021). Tek kullanımlık eğe savunucuları, hiç kullanılmamış NiTi eğelerin bile ilk kullanımda yaklaşık %0,9 oranında kırılabildiğini ve tekrarlanan kullanımın aletlerde giderek artan yorulmaya yol açtığını, bu nedenle tekrar kullanımın rasyonel olmadığını öne sürmektedir (Pillay et al., 2020). Yeni bir egede kırık oluşmasına yol açabilen etkenler; imalat sürecinden kaynaklanan olası kusurlar, uygulama sırasında yapılan operatör kaynaklı hatalar ve kök kanalının zorlayıcı anatomik özelliklerinin bir araya gelmesiyle ilişkilendirilmektedir (Pillay et al., 2020).

Geniş bir kohort çalışmasında, ProTaper döner NiTi eğelerin dört kez yeniden kullanımının kırık insidansını anlamlı derecede artırmadığı bildirilmiştir; ancak çalışmaya dahil edilen ciddi kavisli kanalların prevalansına dair ayrıntı verilmemiştir (W. S et al., 2006). Benzer şekilde başka bir çalışmada da döner aletlerin dört molar dişte endodontik tedavi tamamlayacak kadar klinik olarak kullanılabilceği sonucuna varılmıştır (J et al., 2011). Bununla birlikte bu çalışmada sklerotik kanallar ve ciddi eğriliğe sahip kanallar gibi karmaşık anatomilere sahip dişler dışlanmıştır.

Çoğu deformasyon ve kırığın, karmaşık anatomik konfigürasyonlarda çoklu kullanımdan sonra ortaya çıktığı ve NiTi deformasyonlarının yaklaşık %75'inin molar dişlerde kullanımdan sonra geliştiği bildirilmiştir(Ohri et al., 2024). Döner NiTi aletlerde bozulma belirtilerinin, tek kullanım sonrası bile SEM altında görülebildiği gösterilmiş olsa da bunun klinik açıdan anlamlı

olup olmadığı net değildir (Howait, 2021). Görsel inceleme, kullanılmış NiTi aletleri değerlendirmek için güvenilir bir yöntem olmadığından, aletlerin imhasında ihtiyatlı davranmak yerinde olacaktır.

Şu an için döner NiTi eğelerinin güvenli kullanım sayısına dair kesin bir kılavuz vermek mümkün değildir; çünkü kullanım şekli, operatör, diş ve kök kanal anatomisine göre önemli ölçüde değişmektedir. Bununla birlikte, kök kanal tedavisi sırasında döner NiTi eğelerin tek kullanıma doğru bir eğilim olduğu açıktır (Arias & Peters, 2022; Logsdon, Dunlap, Arias, Scott, & Peters, 2020).

2.6. Temizlik Ve Sterilizasyonun Etkisi

Sterilizasyonun NiTi aletler üzerindeki etkisine ilişkin literatür çelişkili sonuçlar sunmaktadır. Bazı çalışmalar, çoklu sterilizasyon/otoklav döngülerinden sonra NiTi aletlerde çatlak başlangıcı ve yayılımına dair kanıtlar, yüzey düzensizliklerinde artış ve kesme verimliliğinde azalma görüldüğünü bildirmiştir (Silva et al., 2020). Buna karşın diğer çalışmalar, ısı ile sterilizasyonun NiTi eğelerin mekanik özellikleri üzerinde anlamlı olumsuz etkiler yaratmadığını ve kırılma insidansını belirgin şekilde artırmadığını öne sürmektedir (Silvaggio & Hicks, 1997; Almohareb et al., 2021).

Yeni geliştirilen, işlenmek yerine bükülerek şekillendirilen (controlled memory vb.) eğelerle ilgili kanıtlar daha net görünmektedir; yakın tarihli bir çalışmada, çoklu ısı sterilizasyon döngülerinin ardından bu eğelerin döngüsel yorgunluk direncinde azalma olduğu bildirilmiştir (Kang et al., 2023). İlginç şekilde, bazı çalışmalar sterilizasyonun, strese bağlı martensit fazı tekrar ana östenit fazına döndürerek NiTi eğelerin yorulma ömrü üzerinde olumlu etkiler yaratabileceğini de ileri sürmüştür ancak bu olumlu özelliklerin ortaya çıkması için gereken sıcaklıkların klinik pratikte rutin olarak sağlanması olası görünmemektedir (Silva et al., 2020; Alajemi & AbuMostafa, 2024).

Kök kanal irrigantı sodyum hipokloritin (NaOCl) aşındırıcı etkisinin, NiTi aletlerin mekanik özellikleri üzerinde olumsuz etki yaratabileceği varsayılmıştır (Stošić et al., 2023). Buna karşın bazı çalışmalar, NaOCl'nin NiTi aletlerde çukurlaşma veya çatlak korozyonuna yol açma olasılığının düşük olduğunu ve bu nedenle kullanımının NiTi aletlerin döngüsel yorgunluğa bağlı kırık prevalansını veya kırılmaya kadar geçen devir sayısını anlamlı ölçüde artırmadığını iddia etmektedir (Pedullà, Grande, Plotino, Pappalardo, & Rapisarda, 2011).

2.7. Enstrüman Tasarımı

Aletler eğilme ve burulma yüklerine maruz kaldıklarında, kesit alanları ve tasarımlarının kırılmaya karşı direnç üzerinde etkili olduğu gösterilmiştir (Roda-Casanova, Pérez-González, Zubizarreta-Macho, & Faus-Matoses, 2022).

2.7.1. Kesit boyutları ve tasarımı:

Bir eğenin çapının ve kesit alanının artırılmasının, torsiyonel hasara karşı daha yüksek direnç sağladığı; buna karşın fleksüel hasarına karşı direnci azalttığı bildirilmiştir (Shen, Zhou, Zheng, Peng, & Haapasalo, 2013). Kesit tasarımı da kırık açısından önemli bir faktördür. Örneğin üçgen kesitli ProTaper eğeleri, U-flute ProFile aletlerle karşılaştırıldığında ProTaper aletlerde stres dağılımının daha düşük ve daha homojen olduğu gösterilmiştir (Berutti, Chiandussi, Gaviglio, & Ibba, 2003). Ancak bu sonuç, ProTaper'ın değişken konikliğe, ProFile'in ise sabit konikliğe sahip olması nedeniyle karışmış olabilir.

U-flute tasarımı ve bunun sonucu olarak daha küçük kesit alanı, ProFile aletlere üçgen kesitli aletlere göre daha fazla esneklik kazandırır da, torsiyonel strese maruz kaldıklarında daha zayıf olabilecekleri öne sürülmüştür (Berutti et al., 2003). Yerleştirilmiş ve yerleştirilmemiş aletler karşılaştırıldığında, kesici yiv tasarımının aynı boyuttaki aletlerin döngüsel yorgunluk direncini anlamlı derecede etkilemediği bildirilmiştir (Cheung & Darvell, 2007). İlginç biçimde, geleneksel telden üretilmiş NiTi aletlerde kesit konfigürasyonunun yorulma direnci üzerinde görece sınırlı etkisi olduğu ileri sürülürken, controlled memory telden üretilmiş üçgen ve kare kesitli NiTi aletlerin döngüsel yorgunluk ömürlerinde anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir (G. Gambarini et al., 2011).

2.7.2. Enstrüman boyutu :

Çeşitli in vitro çalışmalarda daha küçük çaplı NiTi aletlerde, daha yüksek kırılma ve distorsiyon insidansı kaydedilmiştir (Sattapan et al., 2000). Bazı araştırmacılar, daha küçük çaplı aletlerin daha büyük çaplı aletlere kıyasla torsiyonel kırılmaya daha duyarlı olduğu sonucuna varmış ve küçük eğelerin tek kullanımlık alet olarak düşünülmesi gerektiğini önermişlerdir (Sattapan et al., 2000). Buna karşın geniş çaplı bir klinik kohort çalışmasında, daha büyük çaplı eğeler kullanıldığında daha fazla sayıda kırık görüldüğü, bunun da daha büyük ve rijit eğelerin kullanım sırasında daha yüksek strese maruz kaldığını düşündürdüğü bildirilmiştir (Parashos et al., 2004).

2.7.3. Üretim Süreci

Geleneksel olarak NiTi endodontik eğeler, üretim sırasında boş bir NiTi alaşımlı telin işlenmesiyle şekillendirilir. Bu işlemin, oluklar, çukurlar, çoklu çatlaklar ve metal yığılmaları ile karakterize düzensiz bir yüzey oluşturduğu ve bu tür düzensizliklerin sıklığının aletin konikliği ile birlikte arttığı gösterilmiştir (Haikel, Serfaty, Bateman, Senger, & Allemann, 1999b).

Üretim sürecinin kendisi, döner NiTi aletlerin sertleşmesine ve kırılğan alanlar oluşmasına yol açabilir. Bu yüzey kusurları, stres konsantrasyon alanları olarak davranarak klinik kullanım sırasında çatlakların başlamasına ne-

den olabilir (Pruett, Clement, & Carnes, 1997). Genel olarak, yüzey kusurları malzemenin nihai mukavemetini etkiler ve aletin yorulma direnci üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

3. ENDODONTİK ALET KIRILMA SIKLIĞI

Kök kanal tedavisi sırasında alet kırıkları, diş tipine ve kök kanalının konfigürasyonuna bağlı olarak farklı sıklıklarda ortaya çıkmaktadır. Anatomik zorlukların etkisiyle en yüksek alet kırılma oranı molar dişlerde görülmektedir (%77–89) (Fan et al., 2025). Alt molar dişlerde bu oran %50–55 iken, üst molar dişlerde %25–33,3 olarak bildirilmiştir (Fan et al., 2025; Spili, Parashos, & Messer, 2005). Üst molar dişlerin mesiobukkal kanalında alet kırığı görülme sıklığı, distobukkal kanala göre üç kat daha fazladır; bunun, mesiobukkal kanalın daha fazla eğime sahip olmasından kaynaklandığı belirtilmektedir (Spili et al., 2005).

Alt molar dişlerde mesial kökler distolingual eğimlidir; mesiolingual ve mesiobukkal kanallar distal kanala göre daha dardır. Mesiobukkal kök kanalının linguale eğimi, mesiolingual kanalınkinden daha fazladır; bu da alt molar dişlerde mesiobukkal kök kanalında alet kırılma sıklığının, mesiolingual kök kanalına göre üç kat daha fazla olmasına neden olmaktadır (Parashos et al., 2004).

Alet kırıklarının oluşma sıklığı, aynı kök kanalı içerisinde apikalden koronale doğru da değişiklik göstermektedir; kırık riskinin en yüksek olduğu bölge apikal üçlü (%41–82,7) iken, koronale doğru ilerledikçe risk azalmaktadır (Sattapan et al., 2000). Çeşitli klinik çalışmalar doğrultusunda, endodontide kullanılan aletlerin (döner veya el eğeleri) genel kırılma sıklığının %1,83 ile %8,2 arasında değiştiği belirtilmiştir (McGuigan, Louca, & Duncan, 2013).

Döner alet kırılma sıklığı %0,13 ile %10 arasında bildirilmiş olup, bu oranlar çok farklı sistem ve alet tiplerini kapsamaktadır (McGuigan et al., 2013). El ile kullanılan aletlerin kırılma sıklığının ise %0,25 ile %6 arasında olduğu rapor edilmiştir (Handa, Bhullar, Sandhu, Kaur, & Khurana, 2024). Literatürde daha önce kullanılmamış NiTi döner eğelerin %0,9'unun ilk kullanımda kırıldığı bildirilmektedir; bunun hatalı kullanım, fabrikasyon kusurları veya karmaşık kanal anatomisi ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir (Pillay et al., 2020; Alapati et al., 2005).

Kök kanalına ilk girişte ince uçlu bir el eğesi ile rehber yol (glide path) oluşturulmasının ardından NiTi döner eğe kullanılması, NiTi sistemlerde alet kırığı ihtimalini etkileyebilmektedir; zira glide path varlığı kanal içinde aletin daha kontrollü ilerlemesini sağlar (Pv et al., 2005) Zarrabi; Javidi, Vatanpour, & Esmaeili, 2010).

Her ne kadar kök kanal enstrümanları tedavinin farklı aşamalarında kırılabilse de, literatürde yapılan pek çok araştırma daha ince çaplı aletlerin

yapısal olarak kırılmaya daha elverişli olduğunu ortaya koymaktadır (Yon et al., 2021; Patnana, Chugh, Chugh, & Kumar, 2020). Bu durum, torsiyonel harekete daha duyarlı daha küçük kesit alanı ve işlem başlangıcında karşılaşılan klinik zorluklara bağlanmıştır (Pedullà et al., 2022; Yon et al., 2021). Bu da kemomekanik temizlik açısından kritik öneme sahiptir; zira kırığın, işlemin erken safhalarında daha sık görülebileceği ihtimalini doğurur.

Buna karşın bazı çalışmalar, daha büyük ve daha sert eğelerin en yüksek kırık oranlarını gösterdiğini bildirerek bu görüşle çelişmiştir (Feghali et al., 2021). Bu çelişkili bulguların, spesifik ege boyutlarından ziyade farklı operatör/enstrümantasyon teknikleri veya kanal morfolojisindeki değişkenliklerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. (Pillay et al., 2020).

4. KIRIK ALET TEDAVİSİ

Literatürde, alet kırığından kaynaklanan kanal tıkanıklıklarının giderilmesine yönelik çeşitli tedavi protokolleri tanımlanmıştır. Daha eski yayınlarda, birincil endodontik teşhis ne olursa olsun kırık objenin kanalda bırakılması, objenin koronalindeki kanal bölümünün ise standart endodontik prosedürlere göre tedavi edilmesi gerektiği öne sürülmüştür (Lakshmaiah, Raj Kumar, Sakthi, Karunakaran, & Vishwanath, 2023; Tzanetakakis, Kontakiotis, Maurikou, & Marzelou, 2008). Diğer bazı yazarlar, objenin bypass edilerek kök dolgu materyaline dahil edilmesini önermiştir (Aminsobhani, Hashemi, Hamidzadeh, & Sarraf, 2024). Objenin doğrudan kendisinin veya objeyi çevreleyen kökün tamamının uzaklaştırılmasına yönelik cerrahi teknikler de tarif edilmiştir (Gandevivala, Parekh, Poplai, & Sayed, 2014).

Buna ek olarak, pek çok yazar tıkayıcı nesnenin intradental olarak çıkarılması için özel aletler ve teknikler geliştirmiştir (Olczak, Grabarczyk, & Szymański, 2023; Dioguardi et al., 2024). Ancak bu çıkarma işlemleri, önemli miktarda diş dokusu kaybına ve kök perforasyonu gibi ciddi komplikasyonlara yol açabilmektedir. Bu nedenle, kırık bir aletin endodontik prognoz üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi; elde edilebilecek yararın, çıkarma sırasında oluşabilecek yapısal hasar riski ile karşılaştırılabilmesi açısından önemlidir (Fan et al., 2025).

4.1. Bypass

Kırık parçanın çıkarılmasındaki en önemli engellerden biri, kırık segmentin koronalindeki kök dentininde fazla madde kaldırılması sonucu dikey kök kırığı ve perforasyon riskinin artmasıdır (Fan et al., 2025).

Kırık aletlerin çıkarılmasına bağlı olası komplikasyonlar göz önüne alındığında, parçanın bypass edilmesi de uygun bir tedavi seçeneği olarak değerlendirilebilir. Bu yaklaşım, kanalın uygun şekilde hazırlanması ve sonrasında iyi bir kök kanal dolgusu yapılmasıyla, kök kanal tedavisinin temel amacını büyük ölçüde yerine getirebilmektedir (Adl, Shahravan, Farshad, & Honar,

2017). Bu nedenle kırılmış enstrümanın atlanması (bypass edilmesi) birçok çalışmada başarılı bir yaklaşım olarak kabul edilmiştir (Aminsobhani et al., 2024). Üstelik çoğu durumda, bypass edildikten sonra parça başarılı bir şekilde çıkarılabilmektedir.

4.2. Çıkarmak

Klinisyen kırık segmenti çıkarmayı tercih ettiğinde, bu süreci kolaylaştırmak için geliştirilmiş çok sayıda teknik ve cihazdan yararlanılabilir. Bu cihazlar genel olarak ultrasonik sistemler, mikrotüplü cihazlar ve pense/forseps tipi tutucular olarak sınıflandırılmaktadır (Terauchi, Ali, & Abielhassan, 2022).

4.2.1. Ultrasonik:

Ultrasonik sistemlerin, ameliyat mikroskobu eşliğinde hem in vitro hem de in vivo çalışmalarda kırık aletlerin uzaklaştırılmasında son derece başarılı olduğu gösterilmiştir (Gencoglu & Helvacioğlu, 2009). Kırık alet kök kanalının derin bölgelerine yerleşmişse, dar ve belirgin kavisli kök kanallarında mikrotüp veya pense/forseps gibi yöntemlerin kullanımı güçleşebilmekte, hatta imkânsız hâle gelebilmektedir (Ward, Parashos, & Messer, 2003). Buna karşın ultrasonik uçlar, kök kanalı içine daha derinlere kadar ilerletilebilir ve bu nedenle pek çok durumda kullanılabilir (Chhina, Hans, & Chander, 2015).

Ultrasonik kullanımında, ayrılmış segmente hem doğrudan erişim hem de görsel kontrol sağlanabilmektedir. Kök kanalının farklı kısımlarında kullanılmak üzere çeşitli boyut ve uzunluklarda ultrasonik endodontik uçlar mevcuttur. Uçların çoğu paslanmaz çelikten üretilmiş olup, bazıları elmas veya zirkonya ile kaplanmış. Kaplanmış uçlar dentini uzunlukları boyunca daha fazla düzleştirip cilalarken, kaplamasız uçlar dentini daha çok kesici kenarlarıyla uzaklaştırır. Ayrıca daha fazla esneklik sağladığı belirtilen titanyum alaşımlı ultrasonik uçlar da bulunmaktadır (Agrawal, Kapoor, & Patel, 2015).

Özellikle ince uçlar, parçanın etrafındaki dentini gevşetmek ve kök kanal duvarından daha kolay çıkarılabilir hale getirmek için kullanılır (Gencoglu & Helvacioğlu, 2009). Bu işlem sırasında ultrasonik uçlar cihazın dönüş yönünün tersine hareket etmelidir. Ultrasonik ile birlikte sitrik asit veya EDTA'nın kullanılmasının, enstrümanın yivlerinden debris ve smear tabakasının uzaklaştırılmasına yardımcı olabileceği ve böylece parçanın kök kanalından çıkarılmasını kolaylaştırabileceği öne sürülmüştür (Aminsobhani et al., 2024).

Ruddle tarafından tarif edilen teknikte, önceden genişletilmiş kanalda ultrasonik uçlar yardımıyla kırık alet etrafında bir platform hazırlanmakta ve dentin trefine edilmektedir (Ruddle, 2002). Bu yaklaşımın temel dezavantajı,

trefinasyon sırasında kök dentininden fazla miktarda madde kaldırılmasıdır; bu durum perforasyonla sonuçlanabileceği gibi, özellikle apikal üçlde dışı dikey kök kırığına yatkın hâle getirebilir (Fu, Huang, Zhang, & Hou, 2019).

Çıkarılan segmentin başka bir kanala yerleşmesini önlemek için genellikle diğer kanal ağızlarına pamuklu bir tıkacın yerleştirilmesi önerilir (Fan et al., 2025). Değiştirilmiş veya değiştirilmemiş, önceden kavisli bir K-eğesinin ultrasonik ajitasyonu, parçanın koronal yönü etrafında bir oluk oluşturmak için özel bir ucun kullanımına alternatif bir yöntem olarak da tanımlanmıştır (Ward et al., 2003). K-eğesi daha çok yönlüdür, daha ekonomiktir ve köklerin dar olduğu ve kök dentin kalınlığının sınırlı olduğu durumlarda özel uygulamaya sahiptir (Aminsobhani et al., 2024).

4.2.2. Mikrotüp:

Mikrotüp ekstraksiyonu, genellikle dar bir metal tüpün ucunun kırılmış aletin kanal içinde görülebilen koronal ucunun üzerine oturtulmasını içerir. Parçanın başı etrafında, sistemle birlikte sunulan özel trefin frezler yardımıyla önceden hazırlanmış bir çevresel oluk bulunur bu oluk ultrasonikler yardımıyla oluşturulabilir. Tüp daha sonra parçaya mekanik olarak bağlanır veya bir siyanoakrilat yapıştırıcı yardımıyla tutulur (Olczak et al., 2023). Bu tür cihazların uygulaması esas olarak kanalın düz veya koronal bölümü ile sınırlıdır ve bu sistemler genellikle kanalın aşırı genişletilmesini gerektirmesi nedeniyle eleştirilmektedir (Hülsmann, 1993).

4.2.3. Forseps / Pens:

Steiglitz forseps veya pense tipi tutucular, yalnızca kırık parçanın pulpa odasına kadar uzandığı ve aletin koronal kısmına güvenle tutunabildiği durumlarda kullanılabilir. Ancak alet, kök kanalının daha derin kısımlarında yer alıyorsa, forsepsle parçayı yeterince kavramak ve bu sırada kalan koronal dentin dokusuna zarar vermemek çoğu zaman mümkün değildir (Pruthi, Nawal, Talwar, & Verma, 2020).

4.2.4. Masserann Tekniği:

Masserann tekniği, kök kanalından yabancı cisimlerin uzaklaştırılması için kullanılan birçok yöntemden biridir. Bu teknik; kırık eğelerin, gümüş konların ve postların kök kanalından çıkarılmasında faydalı olabilir ve genel olarak yaklaşık %55'lik bir başarı oranına sahip olduğu bildirilmiştir (Umre, Sedani, Nikhade, Mishra, & Bansod, 2023). Literatürdeki farklı çalışmalarda, ön ve arka dişlerde kullanımında sırasıyla %73 ve %44 başarı oranları rapor edilmiştir (Chandak, Agrawal, Mankar, Sarangi, & Bhopatkar, 2023).



4.2.5. Cancellier Kiti:

Cancellier kiti, kanaldaki gevşetilmiş noktaya oturarak kırık parçanın geri çekilmesini sağlayan dört adet ince içi boş tüpten oluşur. Meitrac Safety System ise, kırık parçanın ucunu serbestleştirmek için kullanılan bir minitrefin içerir; daha sonra fragman iki adet “kilitleme tüpü” yardımıyla tutulup geri çekilebilir (Madarati, Hunter, & Dummer, 2013).

4.2.6. Brasseler Endo Ekstraktör:

Brasseler tarafından üretilen Brasseler Endo Extractor, Inc. (Savannah, GA), alet kırıklarından kaynaklanan kanal tıkanıklıklarının giderilmesi amacıyla geliştirilmiş bir sistemdir. Bu sistem, önce tıkanıklığın etrafında bir boşluk hazırlamak için kullanılan trepan frezden oluşur. Ardından, ucuna bir damla M-50 yapıştırıcı uygulanan içi boş tüp, kırık aletin etrafına yerleştirilir. Yakın zamanda yapılan çalışmalarda, tıkanıklık ile tüp arasında yaklaşık 2 mm’lik bir üst üste binmenin sağlanması, tüp ile fragman arasında sıkı bir uyum oluşturulması ve yapıştırıcının sertleşmesi için 5 dakika beklenmesinin, klinik vakaların büyük kısmında yeterli olduğu gösterilmiştir (Olczak et al., 2023).

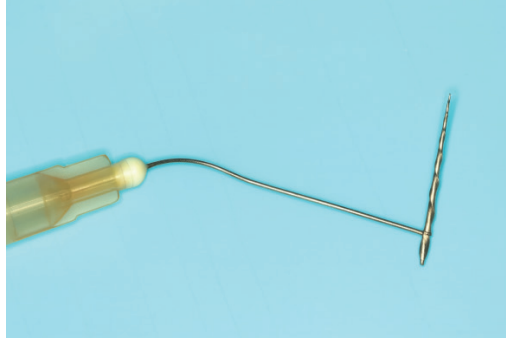
4.2.7. Wire Loop / Modified Wire Loop Tekniği

Wire loop tekniği, minimal invaziv yaklaşımı, düşük ekipman gereksinimi ve geniş uygulama alanı sayesinde uzun yıllardır önemini koruyan bir yöntemdir. Wire loop tekniği, ilk kez Roig-Greene tarafından 1983 yılında tanımlanmış olup, hipodermik iğne ve ince paslanmaz çelik tel kullanılarak kırık fragmanın korunarak kanal dışına alınmasını amaçlar (Roig-Greene, 1983). Orijinal teknikte 25G enjektör iğnesi içine yaklaşık 0.14 mm kalınlığında çelik tel yerleştirilir; telin uçları iğnenin proksimalinden çıkarılarak kanal içinde küçük bir ilmik oluşturulur ve bu ilmik kırık enstrümanın servikal kenarına doğru sıkıştırılarak fragmanın çıkartılması sağlanır. Konstrüksiyonun basitliği, kanal duvarında ek dentin kaybını minimize etmesi ve ult-

rasonik uygulamalarla kombine edilebilmesi, yöntemi özellikle koronal veya orta üçlüde yerleşmiş kırıklar için avantajlı hâle getirir (Frederico, Thayane, Sebastião, Cardoso, & Carvalho, 2020).

Zaman içerisinde tekniğin klinik uygulanabilirliğini artırmak amacıyla çeşitli modifikasyonlar geliştirilmiştir. “Modified wire loop technique” olarak adlandırılan bu yaklaşımlarda; hipodermik iğnenin ucu kırık enstrümanın uzun eksenine daha iyi uyum sağlayacak şekilde düzeltilmiş, tel kalınlığı ise uygulama yerine göre 0.14–0.20 mm aralığında seçilerek ilmik kontrolü kolaylaştırılmıştır (Dias, Rezende, Oliveira, & Guimarães, 2023). Bazı vaka serilerinde enjektör iğnesi yerine kompozit taşıma uçlarının modifiye edilmesi ile daha rijit bir kılavuz yapı elde edildiği, ultrasonik irigasyon veya pat-gevşetme uygulamalarıyla kombine edildiğinde loop’un kırık fragmanı daha stabil kavradığı bildirilmiştir (Aminsobhani et al., 2024). Yöntemin temel prensibi değişmemekle birlikte, telin daha ince veya daha esnek materyallerden seçilmesi, dar anatomilerde loop’un kırık parçanın çevresine daha etkin yerleşmesini sağlayan ek bir avantaj sunmaktadır.

Klinik veriler, wire loop tekniğinin, fragmanın serbest bırakılmasının ardından uygulandığında yüksek başarı oranına sahip olduğunu ve özellikle düz veya hafif kavisli kanallarda dentin kaybını azaltarak güvenli bir alternatif sunduğunu göstermektedir (Terauchi et al., 2022). Modifiye versiyonları ise, kullanıcıya daha fazla kontrol ve adaptasyon olanağı sağlayarak, kırık enstrümanın kanalda derin konumlandığı veya ultrasonik gevşetme gerektiren durumlarda etkin bir seçenek olarak değerlendirilmektedir (Hindlekar et al., 2023).



4.2.8. BTR Pen (Broken Tool Remover Pen),

BTR Pen, kırık enstrüman fragmanlarını *tüp-kavrama (tube-capture)* prensibiyle güvenli biçimde tutup çıkarmayı hedefleyen mekanik bir cihazdır. Tasarımının temelini; kanal içinde kırık enstrümanın koronal ucuna uygun çapta yerleştirilen ince bir metal tüp ve bu tüpün içinde bulunan sıkıştırma mekanizması oluşturur. Sistem, ultrasonik gevşetme yöntemleriyle kombine edildiğinde kırık fragmanın daha stabil bir şekilde kavranmasını ve minimal

dentin kaybı ile uzaklaştırılmasını amaçlar (Bürklein, Donnermeyer, Wefelmeier, Schäfer, & Urban, 2019).

BTR Pen, özellikle NiTi kırık enstrümanların güvenle kavranması için geliştirilmiş olup, “lasso-loop” veya geleneksel tel ilmiik yöntemlerine göre daha kontrollü bir kavrama kuvveti sunar (Aminsobhani et al., 2024). Kanal içine yerleştirilen tüp, fragmanın koronal ucunu çevreledikten sonra mandren mekanizması ile tüpün içindeki çene yapısını sıkıştırır; böylece kırık enstrüman, çekme kuvvetine karşı rijit bir bağlantı oluşturur. Bu mekanizma, hem dentin dokusuna daha az zarar verilmesini hem de fragmanın kontrollü şekilde çıkartılmasını sağlar. Sistem ayrıca, farklı kanal genişliklerine uyum sağlayabilen çeşitli tüp çapları ile birlikte sunulduğundan, hem anterior hem posterior dişlerde kullanım esnekliği sağlar (Gencoglu & Helvacioğlu, 2009).



4.2.9. Diğer Teknikler:

4.2.9.1. Lazer

Lazer enerjisinin dentin ve metal üzerinde oluşturduğu termal ve ablasyon etkilerinden yararlanılan bu yöntemin literatürde üç temel kullanım şekli tanımlanmıştır.

İlk yaklaşımda lazer, kırık enstrüman çevresindeki dentini eriterek veya ablasyonla uzaklaştırarak, fragmanın çevresinin serbestleştirilmesini sağlar; ardından enstrüman, genellikle bir H-file ile by-pass edilip koronal yönde çıkarılır. Bu yöntem, geleneksel ultrasonik veya mikromotor temelli eğe-gevşetme tekniklerine benzer şekilde çalışsa da, dentinin lazerle uzaklaştırılması nedeniyle mekanik temasın daha az olduğu, dolayısıyla çevre dentinin daha kontrollü kaldırılabilirdiği bildirilmiştir (Cvikl et al., 2014).

İkinci kullanım şeklinde lazer enerjisi doğrudan kırık parçaya uygulanır ve yüksek enerji yoğunluğunun etkisiyle fragmanın ince segmentlerinin kısmen erimesi veya fragmente olması sağlanır. Özellikle erişilmesi güç, dar ve eğri anatomilerde kırık enstrümanın koronal kısmına direkt temas sağlanamadığı durumlarda bu yaklaşımın belirli bir avantaj sağlayabileceği ifade edilmiştir (Hagiwara et al., 2013).

Üçüncü teknik ise enstrüman fragmanı ile metal bir tüp arasında lazer aracılığıyla bir bağlantı oluşturulması (laser welding) prensibine dayanır. Bu yöntemde Nd:YAG lazer, tüp ile kırık aletin koronal ucu arasında noktasal bir “kaynak” etkisi yaratarak iki metalin geçici olarak birleşmesini sağlar; sonrasında tüp geri çekildiğinde kırık parça da kanal dışına alınır. Deneysel çalışmalarda bu yöntem ile çeşitli NiTi ve paslanmaz çelik kırık eğe segmentlerinin etkin biçimde çıkarılabildiği rapor edilmiştir (Namour et al., 2024).

Ayrıca yüksek sıcaklığa bağlı olarak dentinin karbonize olma olasılığı da vardır ve bu da dolgu materyallerinin kök kanal duvarına yapışmasını olumsuz yönde etkileyebilir (Sadony & Moharam, 2024).

4.2.9.2. Elektroliz

NiTi fragmanının elektroliz yoluyla çözülmesi önerildi. Yöntem, kök kanalının elektrolit görevi gören bir solvent ile doldurulmasını ve iki elektrotun (anot-katot) elektrolite batırılmasını içerir. Anot görevi gören elektrot, parçayla temas edecek şekilde yerleştirilir. İki elektrot arasındaki voltaj, anottan katoda elektron akışına, parçadan çözücüye metalik iyonların salınmasına ve parçanın aşamalı olarak çözünmesine neden olur. Yöntemin etkinliği çözücünün türüne, konsantrasyonuna, pH'ına ve ayrıca fragman ile temas derecesine bağlıdır (Hariprasad et al., 2024). Şimdiye kadar bu yöntem yalnızca ex vivo veya parçanın 60 dakika sonra No 10 K eğe ile atlanmasına izin verecek kadar çözüldüğü in vitro çalışmalarda test edilmiştir (Ormiga, da Cunha Ponciano Gomes, & de Araújo, 2010). Elektrolizin avantajı kök kanal duvarından dentin çıkarılmasının önlenmesidir (Aboud, Ormiga, & Gomes, 2014). Ancak dezavantajı, elektrolit olarak kullanılan çözücünün, özellikle NiTi fragmanının çözünmeyen bileşenleriyle kombinasyon halinde sitotoksikiteye neden olabilmesidir (Mitchell, Jeansonne, Stoute, & Lallier, 2013).

Parçanın konservatif olarak çıkarılması veya baypas edilmesi imkansız olduğunda veya yüksek bir aksilik riski olduğunda, kök kanalının parçaya doğru koronal olarak enstrümantasyonu ve doldurulması ve ardından dişin takip edilmesi önerilir. Klinik semptomlar, periapikal lezyon veya önceden var olan periapikal lezyonun genişlemesi durumunda cerrahi endodontik tedavi önerilmektedir (Terauchi et al., 2022).

4.3. Retrograt Cerrahi

Kırık aletin bypass edilemediği ve çıkarılamadığı vakalarda takip sonrası periapikal lezyon varlığı durumunda kırık alet apikal bölgede ise apikal rezeksiyon düşünülebilir.

Kök rezeksiyon teknikleri esas olarak ileri derecede endodontik-periodontal problemleri olan dişlerde uygulanmaktadır. Ancak bu teknikler aynı zamanda cerrahi endodontik tedavi için de dikkate alınmıştır (Corbella et al., 2023). Kök rezeksiyonu veya kök amputasyonu, dişin kuronunu sağlam ve

kalan kökler tarafından desteklenmiş halde bırakarak bir kökün tamamının ve yapışık yumuşak dokuların cerrahi olarak çıkarılması olarak tanımlanabilir (Abu-Melha, 2012). Bazı durumlarda rezeksiyon, alt azı dişleri gibi dişin tepe kısmının bir kısmını içerebilir ve hemiseksiyon olarak tanımlanır (Tao-ri, Nikhade, & Mahapatra, 2022).

5. SONUÇ

Kırık endodontik aletler, kök kanal tedavisinde sık karşılaşılan bir komplikasyondur ve tedavi başarısını etkileyen kritik bir faktördür. Literatürde, kanal içinde kırık alet parçası bırakılmış dişlerin prognozunun, uygun kanal dezenfeksiyonu ve doldurma kalitesine bağlı olarak değiştiği, ancak bunun her durumda belirgin bir kötü sonuca yol açmadığı bildirilmiştir. Bir sistematik derlemede, kırık aletin kanal içinde bırakıldığı vakalarda tedavi başarısı %90'a yakın bulunmuş ve periapikal lezyon yokluğunda iyileşme oranının yüksek olduğu gösterilmiştir, bu da kırık parçanın tek başına belirleyici bir olumsuz faktör olmadığını düşündürmektedir (Panitvisai et al., 2010). Bununla birlikte, aletin apikal üçüncüye yakın konumlanması gibi faktörler başarısızlık oranını artırabilmekte ve bazı çalışmalarda %8.8–21 civarında başarısızlık oranları bildirilmiştir (Dioguardi et al., 2024). Bu bulgular, kanal temizleme-doldurma aşamalarının mikrobiyal kontrolünü sağlayacak şekilde tamamlanmasının, kırık alet varlığında bile tedavi başarısını sürdürmede en önemli etken olduğunu göstermektedir.

Bununla birlikte, kırık aletin kök kanalından çıkarılması planlanıyorsa, uygun vaka seçimi büyük önem taşımaktadır. Kırık parçanın kanal içindeki konumu, kök anatomisi ve dişin yapısal bütünlüğü dikkate alınarak, dişte minimal dentin kaybı oluşturacak tekniklerin tercih edilmesi önerilmektedir. Ultrasonik ve mekanik çıkarma yöntemleri, uygun endikasyonlarda ve kontrollü şekilde uygulandığında başarılı sonuçlar sağlayabilmektedir. Ancak aşırı dentin uzaklaştırılması, perforasyon ve kök zayıflaması gibi komplikasyon riskleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Kaynaklar

- Aboud, L. R. L., Ormiga, F., & Gomes, J. a. C. P. (2014). Electrochemical induced dissolution of fragments of nickel-titanium endodontic files and their removal from simulated root canals. *International Endodontic Journal*, 47(2), 155-162. <https://doi.org/10.1111/iej.12126>
- Abu-Melha, A. S. (2012). Root amputation and bone grafting of failed apicoectomy of mesiobuccal root of maxillary first molar. *Saudi Endodontic Journal*, 2(3), 147. <https://doi.org/10.4103/1658-5984.112709>
- Abu-Tahun, I. H., Kwak, S. W., Ha, J.-H., Sigurdsson, A., Kayahan, M. B., & Kim, H.-C. (2019). Effective Establishment of Glide-Path to Reduce Torsional Stress during Nickel-Titanium Rotary Instrumentation. *Materials*, 12(3), 493. <https://doi.org/10.3390/ma12030493>
- Adl, A., Shahrvan, A., Farshad, M., & Honar, S. (2017). Success Rate and Time for Bypassing the Fractured Segments of Four NiTi Rotary Instruments. *Iranian Endodontic Journal*, 12(3), 349-353. <https://doi.org/10.22037/iej.v12i3.16866>
- Agrawal, V., Kapoor, S., & Patel, M. (2015). Ultrasonic Technique to Retrieve a Rotary Nickel-Titanium File Broken Beyond the Apex and a Stainless Steel File from the Root Canal of a Mandibular Molar: A Case Report. *Journal of Dentistry (Tehran, Iran)*, 12(7), 532-536.
- Alajemi, M., & AbuMostafa, A. (2024). Effect of simulated clinical use and sterilization on the cyclic fatigue resistance of nickel titanium files. *PeerJ*, 12, e17418. <https://doi.org/10.7717/peerj.17418>
- Alapati, S. B., Brantley, W. A., Svec, T. A., Powers, J. M., Nusstein, J. M., & Daehn, G. S. (2005). SEM Observations of Nickel-Titanium Rotary Endodontic Instruments that Fractured During Clinical Use. *Journal of Endodontics*, 31(1), 40-43. <https://doi.org/10.1097/01.DON.0000132301.87637.4A>
- Almohareb, R. A., Barakat, R., Albakri, A., Altamimi, M., Almohareb, R. A., Barakat, R., ... Altamimi, M. (2021). Effect of Autoclaving Cycles on the Cyclic Fatigue Resistance of Race and Race Evo Nickel-Titanium Endodontic Rotary Files: An In Vitro Study. *Metals*, 11(12). <https://doi.org/10.3390/met11121947>
- Aminsobhani, M., Hashemi, N., Hamidzadeh, F., & Sarraf, P. (2024). Broken Instrument Removal Methods with a Minireview of the Literature. *Case Reports in Dentistry*, 2024, 9665987. <https://doi.org/10.1155/2024/9665987>
- 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>
- Berutti, E., Chiandussi, G., Gaviglio, I., & Ibba, A. (2003). Comparative analysis of torsional and bending stresses in two mathematical models of nickel-titanium rotary instruments: ProTaper versus ProFile. *Journal of Endodontics*, 29(1), 15-19. <https://doi.org/10.1097/00004770-200301000-00005>

- Blum, J. Y., Machtou, P., & Micallef, J. P. (1999). Location of contact areas on rotary Profile instruments in relationship to the forces developed during mechanical preparation on extracted teeth. *International Endodontic Journal*, 32(2), 108-114. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.1999.00200.x>
- Bürklein, S., Donnermeyer, D., Wefelmeier, M., Schäfer, E., & Urban, K. (2019). Removing Fractured Endodontic NiTi Instruments with a Tube Technique: Influence of Pre-Treatment with Various Agents on Adhesive Forces In Vitro. *Materials*, 13(1), 144. <https://doi.org/10.3390/ma13010144>
- Chandak, M., Agrawal, P., Mankar, N., Sarangi, S., & Bhopatkar, J. (2023). Navigating Separated Instrument Retrieval: A Case Report. *Cureus*, 15(12), e50559. <https://doi.org/10.7759/cureus.50559>
- Cheung, G. S. P., & Darvell, B. W. (2007). Fatigue testing of a NiTi rotary instrument. Part 2: Fractographic analysis. *International Endodontic Journal*, 40(8), 619-625. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2007.01256.x>
- Cheung, G. S. P., Peng, B., Bian, Z., Shen, Y., & Darvell, B. W. (2005). Defects in Pro-Taper S1 instruments after clinical use: Fractographic examination. *International Endodontic Journal*, 38(11), 802-809. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2005.01020.x>
- Chhina, H., Hans, M. K., & Chander, S. (2015). Ultrasonics: A Novel Approach for Retrieval of Separated Instruments. *Journal of Clinical and Diagnostic Research : JCDR*, 9(1), ZD18-ZD20. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2015/11056.5473>
- Cvikl, B., Klimscha, J., Holly, M., Zeitlinger, M., Gruber, R., & Moritz, A. (2014). Removal of fractured endodontic instruments using an Nd:YAG laser. *Quintessence International (Berlin, Germany: 1985)*, 45(7), 569-575. <https://doi.org/10.3290/j.qi.a31961>
- Çalışkan K. (2006). *Endodontide Tanı ve tedaviler*. Çapa, İstanbul, Nobel Tıp Kitabevleri,.
- Di Fiore, P. M. (2007). A dozen ways to prevent nickel-titanium rotary instrument fracture. *The Journal of the American Dental Association*, 138(2), 196-201. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2007.0136>
- Dias, A. L. da C., Rezende, N. F. G., Oliveira, R. J. de, & Guimarães, B. M. (2023). Remoção de instrumento fraturado no canal radicular utilizando a técnica do laço com fio ortodôntico e ultrassom: Relato de caso. *Research, Society and Development*, 12(8), e14212843021-e14212843021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v12i8.43021>
- Dioguardi, M., Russo, C. D., Scarano, F., Esperouz, F., Ballini, A., Sovereto, D., ... Muzio, L. L. (2024). Analysis of Endodontic Successes and Failures in the Removal of Fractured Endodontic Instruments during Retreatment: A Systematic Review, Meta-Analysis, and Trial Sequential Analysis. *Healthcare*, 12(14). <https://doi.org/10.3390/healthcare12141390>
- dos Reis, F. A. S., Abu Hasna, A., Ragozzini, G., de Moura, F. B., Campos, T. M. B., de Martin, A. S., ... Bueno, C. E. S. (2023). Assessing the cyclic fatigue resistance

- and sterilization effects on replica-like endodontic instruments compared to Reciproc Blue. *Scientific Reports*, 13(1), 22956. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-50096-2>
- Eskibağlar, M., Özata, M. Y., Ocağ, M. S., & Öztekin, F. (2023). Investigation of fracture prevalence of instruments used in root canal treatments at a faculty of dentistry: A prospective study. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 48(4), e38. <https://doi.org/10.5395/rde.2023.48.e38>
- Fan, Y., Gao, Y., Wang, X., Fan, B., Chen, Z., Yu, Q., ... Zhou, X. (2025). Expert consensus on management of instrument separation in root canal therapy. *International Journal of Oral Science*, 17(1), 46. <https://doi.org/10.1038/s41368-025-00372-w>
- Feghali, M., Xhajanka, E., Di Nardo, D., Bhandi, S., Kassabian, P., Seracchiani, M., ... Testarelli, L. (2021). Incidence of Different Types of Intracanal Fracture of Nickel-Titanium Rotary Instruments: A Systematic Review. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, 22(4), 427-434.
- Frederico, P., Thayane, I., Sebastião, P., Cardoso, R., & Carvalho, N. (2020). DIFFERENT TECHNIQUES TO REMOVE A FRACTURED ENDODONTIC INSTRUMENT IN AN UPPER FIRST MOLAR: CASE REPORT. 5-09.
- Fu, M., Huang, X., Zhang, K., & Hou, B. (2019). Effects of Ultrasonic Removal of Fractured Files from the Middle Third of Root Canals on the Resistance to Vertical Root Fracture. *Journal of Endodontics*, 45(11), 1365-1370. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2019.08.009>
- Gambarini, G., Plotino, G., Grande, N. M., Al-Sudani, D., De Luca, M., & Testarelli, L. (2011). Mechanical properties of nickel-titanium rotary instruments produced with a new manufacturing technique. *International Endodontic Journal*, 44(4), 337-341. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2010.01835.x>
- Gambarini, Gianluca. (2001). Cyclic Fatigue of Nickel-Titanium Rotary Instruments after Clinical Use with Low-and High-Torque Endodontic Motors. *Journal of Endodontics*, 27(12), 772-774. <https://doi.org/10.1097/00004770-200112000-00015>
- Gandevivala, A., Parekh, B., Poplai, G., & Sayed, A. (2014). Surgical Removal of Fractured Endodontic Instrument in the Periapex of Mandibular First Molar. *Journal of International Oral Health : JIOH*, 6(4), 85-88.
- Gao, Y., Shotton, V., Wilkinson, K., Phillips, G., & Johnson, W. B. (2010). Effects of raw material and rotational speed on the cyclic fatigue of ProFile Vortex rotary instruments. *Journal of Endodontics*, 36(7), 1205-1209. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.02.015>
- Gencoglu, N., & Helvacioğlu, D. (2009). Comparison of the Different Techniques to Remove Fractured Endodontic Instruments from Root Canal Systems. *European Journal of Dentistry*, 3(2), 90-95.
- Gm, Y., Fe, B. D., & P, M. (2001). Failure of ProFile instruments used with high and low torque motors. *International Endodontic Journal*, 34(6). <https://doi.org/10.1016/j.joen.2001.02.015>

g/10.1046/j.1365-2591.2001.00420.x

- Gürler, K., Yilmaz, S., Dumani, A., & Yoldas, O. (2024). Comparison of cyclic fatigue resistance of three different single-file systems after clinical use. *BMC Oral Health*, 24, 1482. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-05287-2>
- Hagiwara, R., Suehara, M., Fujii, R., Kato, H., Nakagawa, K., & Oda, Y. (2013). Laser welding method for removal of instruments debris from root canals. *The Bulletin of Tokyo Dental College*, 54(2), 81-88. <https://doi.org/10.2209/tdcpublication.54.81>
- Haikel, Y., Serfaty, R., Bateman, G., Senger, B., & Allemann, C. (1999a). Dynamic and cyclic fatigue of engine-driven rotary nickel-titanium endodontic instruments. *Journal of Endodontics*, 25(6), 434-440. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(99\)80274-X](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(99)80274-X)
- Haikel, Y., Serfaty, R., Bateman, G., Senger, B., & Allemann, C. (1999b). Dynamic and cyclic fatigue of engine-driven rotary nickel-titanium endodontic instruments. *Journal of Endodontics*, 25(6), 434-440. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(99\)80274-X](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(99)80274-X)
- Haimed, T. S. A. (2024). The effect of rotational speed on force and torque during instrumentation of simulated root canals using ProTaper Next rotary files. *Saudi Endodontic Journal*, 14(1), 19. https://doi.org/10.4103/sej.sej_154_23
- Handa, A., Bhullar, K. K., Sandhu, R. M., Kaur, M., & Khurana, S. (2024). Incidence of Endodontic Instruments Separation among the Patients Undergoing Endodontic Treatment. *Indian Journal of Dental Research*, 35(4), 417. https://doi.org/10.4103/ijdr.ijdr_746_23
- Hariprasad, R., Joy, B., Kuriakose, F., Sudhakar, A. S., Soumya, T. S., & Pathrose, S. P. (2024). Electrochemical dissolution and retrieval of broken NiTi endodontic files from root canal using chloride based isotonic fluids as electrolytes—An in vitro study. *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences*, 16(Suppl 2), S1539-S1543. https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_1225_23
- Hindlekar, A., Kaur, G., Kashikar, R., & Kotadia, P. (2023). Retrieval of Separated Intracanal Endodontic Instruments: A Series of Four Case Reports. *Cureus*, 15(3), e35694. <https://doi.org/10.7759/cureus.35694>
- Howait, M. (2021). Reciproc Endodontic File Surface Defects After Single Use: An SEM Analysis. *Journal of International Society of Preventive & Community Dentistry*, 11(1), 98-103. https://doi.org/10.4103/jispcd.JISPCD_412_20
- Hülsmann, M. (1993). Methods for removing metal obstructions from the root canal. *Endodontics & Dental Traumatology*, 9(6), 223-237. <https://doi.org/10.1111/j.1600-9657.1993.tb00278.x>
- Iqbal, M. K., Kohli, M. R., & Kim, J. S. (2006). A Retrospective Clinical Study of Incidence of Root Canal Instrument Separation in an Endodontics Graduate Program: A PennEndo Database Study. *Journal of Endodontics*, 32(11), 1048-1052. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2006.03.001>

- J, W., G, L., M, Y., Y, Y., J, Y., & G, Z. (2011). Instrument separation analysis of multi-used ProTaper Universal rotary system during root canal therapy. *Journal of Endodontics*, 37(6). <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.02.021>
- Jaiswal, N. U., Mantri, S. P., Paul, B., Dube, K., Singh, V., & Bhatnagar, N. (2019). Comparative evaluation of the effectiveness and fracture rate of three pathfinding nickel-titanium rotary instruments, Mtwo, OneG, and ProGlider, in mechanically negotiating moderately curved molar canals to the full working length. *Journal of Conservative Dentistry: JCD*, 22(3), 260. https://doi.org/10.4103/JCD.JCD_487_18
- Kang, Y. J., Alshehhi, A., Al Raeesi, D., Alkhatib, Z., Jamal, M., El Abed, R., & Kim, H.-C. (2023). Effect from usage and autoclave sterilization on torsional fracture resistance of heat-treated nickel-titanium instruments: An in-vitro study. *Frontiers in Materials*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmats.2023.1215780>
- Kl, B., Hr, S., & A, R. (2001). Comparison of nickel-titanium file distortion using electric and air-driven handpieces. *Journal of Endodontics*, 27(1). <https://doi.org/10.1097/00004770-200101000-00021>
- 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>
- Lakshmaiah, D., Raj Kumar, J., Sakthi, N., Karunakaran, J., & Vishwanath, S. (2023). The Management of Fractured Dental Instruments: A Case Series. *Cureus*, 15(11), e49132. <https://doi.org/10.7759/cureus.49132>
- Lee, J., Lee, S.-H., Hong, J.-R., Kum, K.-Y., Oh, S., Al-Ghamdi, A. S., ... Chang, S. W. (2020). Three-Dimensional Analysis of Root Anatomy and Root Canal Curvature in Mandibular Incisors Using Micro-Computed Tomography with Novel Software. *Applied Sciences*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/app10124385>
- Logsdon, J., Dunlap, C., Arias, A., Scott, R., & Peters, O. A. (2020). Current Trends in Use and Reuse of Nickel-Titanium Engine-driven Instruments: A Survey of Endodontists in the United States. *Journal of Endodontics*, 46(3), 391-396. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2019.12.011>
- Madarati, A. A. (2019). Factors influencing incidents of complications while using nickel-titanium rotary instruments for root canal treatment. *BMC Oral Health*, 19(1), 241. <https://doi.org/10.1186/s12903-019-0938-7>
- 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>
- Marinho, P. M. L., Campos, M. P. de A., Rodrigues, E. O. L., Gois, C. F. L., & Barreto, I. D. de C. (2016). Construction and validation of a tool to Assess the Use of Light Technologies at Intensive Care Units. *Revista Latino-Americana De Enfermagem*, 24, e2816. <https://doi.org/10.1590/1518-8345.1002.2816>
- Martín, B., Zelada, G., Varela, P., Bahillo, J. G., Magán, F., Ahn, S., & Rodríguez, C.

- (2003). Factors influencing the fracture of nickel-titanium rotary instrument-AbstractAbstractAbstractAbstract. *International Endodontic Journal*, 36(4), 262-266. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2003.00630.x>
- McGuigan, M. B., Louca, C., & Duncan, H. F. (2013). Endodontic instrument fracture: Causes and prevention. *British Dental Journal*, 214(7), 341-348. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2013.324>
- Medicine, B. J. of D. (2022, Ekim 12). Separated instrument in endodontics: Frequency, treatment and prognosis. Geliş tarihi 19 Ağustos 2025, gönderen Balkan Journal of Dental Medicine website: <https://balkandentaljournal.com/separated-instrument-in-endodontics-frequency-treatment-and-prognosis/>
- Mitchell, Q., Jeansonne, B. G., Stoute, D., & Lallier, T. E. (2013). Electrochemical dissolution of nickel-titanium endodontic files induces periodontal ligament cell death. *Journal of Endodontics*, 39(5), 679-684. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.12.013>
- Namour, A., El Mobadder, M., Matamba, P., Misoaga, L., Magnin, D., Arany, P., & Nammour, S. (2024). The Safety of Removing Fractured Nickel-Titanium Files in Root Canals Using a Nd: YAP Laser. *Biomedicines*, 12(5), 1031. <https://doi.org/10.3390/biomedicines12051031>
- Nield, H. (2020). A short history of infection control in dentistry. *Bdj Team*, 7(8), 12-15. <https://doi.org/10.1038/s41407-020-0402-1>
- O'Hoy, P. Y. Z., Messer, H. H., & Palamara, J. E. A. (2003). The effect of cleaning procedures on fracture properties and corrosion of NiTi files. *International Endodontic Journal*, 36(11), 724-732. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2003.00709.x>
- Ohri, K., Chien, P. Y.-H., Peters, O. A., Ohri, K., Chien, P. Y.-H., & Peters, O. A. (2024). The Biomechanics of Nickel Titanium Instrument Fracture in Root Canal Therapy: A Narrative Review. *Materials*, 17(24). <https://doi.org/10.3390/ma17246147>
- Olczak, K., Grabarczyk, J., & Szymański, W. (2023). Removing Fractured Endodontic Files with a Tube Technique—The Strength of the Glued Joint: Tube-Endodontic File Setup. *Materials*, 16(11), 4100. <https://doi.org/10.3390/ma16114100>
- Ormiga, F., da Cunha Ponciano Gomes, J. A., & de Araújo, M. C. P. (2010). Dissolution of nickel-titanium endodontic files via an electrochemical process: A new concept for future retrieval of fractured files in root canals. *Journal of Endodontics*, 36(4), 717-720. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.11.024>
- Panitvisai, P., Parunnit, P., Sathorn, C., & Messer, H. H. (2010). Impact of a retained instrument on treatment outcome: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Endodontics*, 36(5), 775-780. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.12.029>
- Parashos, P., Gordon, I., & Messer, H. H. (2004a). Factors influencing defects of rotary nickel-titanium endodontic instruments after clinical use. *Journal of Endodontics*, 30(10), 722-725. <https://doi.org/10.1097/01.don.0000129963.42882.c9>
- Parashos, P., Gordon, I., & Messer, H. H. (2004b). Factors influencing defects of rotary

- nickel-titanium endodontic instruments after clinical use. *Journal of Endodontics*, 30(10), 722-725. <https://doi.org/10.1097/01.don.0000129963.42882.c9>
- Patnana, A. K., Chugh, A., Chugh, V. K., & Kumar, P. (2020). The incidence of nickel-titanium endodontic hand file fractures: A 7-year retrospective study in a tertiary care hospital. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 23(1), 21. https://doi.org/10.4103/JCD.JCD_254_20
- Pedullà, E., Canova, F. S., Rosa, G. R. M. L., Naaman, A., Diemer, F., Generali, L., ... Nehme, W. (2022). Influence of NiTi Wire Diameter on Cyclic and Torsional Fatigue Resistance of Different Heat-Treated Endodontic Instruments. *Materials*, 15(19). <https://doi.org/10.3390/ma15196568>
- Pedullà, E., Grande, N. M., Plotino, G., Pappalardo, A., & Rapisarda, E. (2011). Cyclic fatigue resistance of three different nickel-titanium instruments after immersion in sodium hypochlorite. *Journal of Endodontics*, 37(8), 1139-1142. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.04.008>
- Pedullà, E., Rosa, G. R. M. L., Virgillito, C., Rapisarda, E., Kim, H.-C., & Generali, L. (2020). Cyclic Fatigue Resistance of Nickel-titanium Rotary Instruments according to the Angle of File Access and Radius of Root Canal. *Journal of Endodontics*, 46(3), 431-436. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2019.11.015>
- Peng, B., Shen, Y., Cheung, G. S. P., & Xia, T. J. (2005). Defects in ProTaper S1 instruments after clinical use: Longitudinal examination. *International Endodontic Journal*, 38(8), 550-557. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2005.00991.x>
- Peters, O. A., Peters, C. I., Schönenberger, K., & Barbakow, F. (2003). ProTaper rotary root canal preparation: Assessment of torque and force in relation to canal anatomy. *International Endodontic Journal*, 36(2), 93-99. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2003.00628.x>
- Pillay, M., Vorster, M., & van der Vyver, P. J. (2020). Fracture of endodontic instruments - Part 1: Literature review on factors that influence instrument breakage. *South African Dental Journal*, 75(10), 553-563. <https://doi.org/10.17159/2519-0105/2020/v75no10a4>
- Pruett, J. P., Clement, D. J., & Carnes, D. L. (1997). Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments. *Journal of Endodontics*, 23(2), 77-85. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(97\)80250-6](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(97)80250-6)
- Pruthi, P. J., Nawal, R. R., Talwar, S., & Verma, M. (2020). Comparative evaluation of the effectiveness of ultrasonic tips versus the Terauchi file retrieval kit for the removal of separated endodontic instruments. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 45(2), e14. <https://doi.org/10.5395/rde.2020.45.e14>
- Pv, P., Bm, B., Cr, L., G, C., & Jg, B. (2005). The influence of a manual glide path on the separation rate of NiTi rotary instruments. *Journal of Endodontics*, 31(2). <https://doi.org/10.1097/01.don.0000136209.28647.13>
- Roda-Casanova, V., Pérez-González, A., Zubizarreta-Macho, A., & Faus-Matoses, V. (2022). Influence of Cross-Section and Pitch on the Mechanical Response of NiTi Endodontic Files under Bending and Torsional Conditions—A Fi-

- nite Element Analysis. *Journal of Clinical Medicine*, 11(9), 2642. <https://doi.org/10.3390/jcm11092642>
- Roig-Greene, J. L. (1983). The retrieval of foreign objects from root canals: A Simple aid. *Journal of Endodontics*, 9(9), 394-397. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(83\)80193-9](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(83)80193-9)
- Ruddle, C. J. (2002). Broken instrument removal. The endodontic challenge. *Dentistry Today*, 21(7), 70-72, 74, 76 passim.
- Ruivo, L. M., Rios, M. de A., Villela, A. M., de Martin, A. S., Kato, A. S., Pelegri, R. A., ... Bueno, C. E. da S. (2021). Fracture incidence of Reciproc instruments during root canal retreatment performed by postgraduate students: A cross-sectional retrospective clinical study. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 46(4), e49. <https://doi.org/10.5395/rde.2021.46.e49>
- S, C., C, W., & I, T. (2023). Effectiveness of root resection techniques compared with root canal retreatment or apical surgery for the treatment of apical periodontitis and tooth survival: A systematic review. *International Endodontic Journal*, 56 Suppl 3. <https://doi.org/10.1111/iej.13808>
- S, W., J, W., D, I., W, K., S, J., S, M., & J, M. (2006). Separation incidence of protaper rotary instruments: A large cohort clinical evaluation. *Journal of Endodontics*, 32(12). <https://doi.org/10.1016/j.joen.2006.05.015>
- Sadony, D. M., & Moharam, L. M. (2024). Laser applications in endodontics: A review article. *Bulletin of the National Research Centre*, 48(1), 103. <https://doi.org/10.1186/s42269-024-01260-9>
- Sattapan, B., Nervo, G. J., Palamara, J. E., & Messer, H. H. (2000a). Defects in rotary nickel-titanium files after clinical use. *Journal of Endodontics*, 26(3), 161-165. <https://doi.org/10.1097/00004770-200003000-00008>
- Sattapan, B., Nervo, G. J., Palamara, J. E., & Messer, H. H. (2000b). Defects in rotary nickel-titanium files after clinical use. *Journal of Endodontics*, 26(3), 161-165. <https://doi.org/10.1097/00004770-200003000-00008>
- Shen, Y., Zhou, H., Zheng, Y., Peng, B., & Haapasalo, M. (2013). Current challenges and concepts of the thermomechanical treatment of nickel-titanium instruments. *Journal of Endodontics*, 39(2), 163-172. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.11.005>
- Silva, E. J. N. L., Zanon, M., Hecksher, F., Belladonna, F. G., Vasconcelos, R. A. de, & Fidalgo, T. K. da S. (2020). Influence of autoclave sterilization procedures on the cyclic fatigue resistance of heat-treated nickel-titanium instruments: A systematic review. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 45(2), e25. <https://doi.org/10.5395/rde.2020.45.e25>
- Silvaggio, J., & Hicks, M. L. (1997). Effect of heat sterilization on the torsional properties of rotary nickel-titanium endodontic files. *Journal of Endodontics*, 23(12), 731-734. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(97\)80344-5](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(97)80344-5)
- 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>
- Stošić, N., Popović, J., Anđ, M., Apostolović, elković, Mitić, A., Nikolić, M., ... Kostić, M. (2023). Effects of Autoclave Sterilization on Cyclic Fatigue Resistance in 5 Types of Rotary Endodontic Instruments: An In Vitro Study. *Medical Science Monitor : International Medical Journal of Experimental and Clinical Research*, 29, e939694-1-e939694-10. <https://doi.org/10.12659/MSM.939694>
- Taori, P., Nikhade, P. P., & Mahapatra, J. (2022). Hemisection: A Different Approach From Extraction. *Cureus*, 14(9), e29410. <https://doi.org/10.7759/cureus.29410>
- Terauchi, Y., Ali, W. T., & Abielhassan, M. M. (2022). Present status and future directions: Removal of fractured instruments. *International Endodontic Journal*, 55(S3), 685-709. <https://doi.org/10.1111/iej.13743>
- Tzanetakakis, G. N., Kontakiotis, E. G., Maurikou, D. V., & Marzelou, M. P. (2008). Prevalence and Management of Instrument Fracture in the Postgraduate Endodontic Program at the Dental School of Athens: A Five-year Retrospective Clinical Study. *Journal of Endodontics*, 34(6), 675-678. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.02.039>
- Umre, U., Sedani, S., Nikhade, P. P., Mishra, A., & Bansod, A. (2023). The Good Old Masserann Technique for the Retrieval of a Separated Instrument: An Endodontic Challenge. *Cureus*, 15(9), e45811. <https://doi.org/10.7759/cureus.45811>
- Uygun, A. D., Kol, E., Topcu, M. K. C., Seckin, F., Ersoy, I., & Tanriver, M. (2016). Variations in cyclic fatigue resistance among ProTaper Gold, ProTaper Next and ProTaper Universal instruments at different levels. *International Endodontic Journal*, 49(5), 494-499. <https://doi.org/10.1111/iej.12471>
- Ward, J. R., Parashos, P., & Messer, H. H. (2003). Evaluation of an ultrasonic technique to remove fractured rotary nickel-titanium endodontic instruments from root canals: An experimental study. *Journal of Endodontics*, 29(11), 756-763. <https://doi.org/10.1097/00004770-200311000-00017>
- Yılmaz, A., Gökyay, S. S., Dağlaroğlu, R., & Küçükay, I. K. (2018). Evaluation of deformation and fracture rates for nickel-titanium rotary instruments according to the frequency of clinical use. *European Oral Research*, 52(2), 89-93. <https://doi.org/10.26650/eor.2018.461>
- Yon, M. J., Tang, M. H., & Cheung, G. S. (2021). Defects and Safety of NiTi Root Canal Instruments: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Dental Medicine*, 2. <https://doi.org/10.3389/fdmed.2021.747071>
- Zarrabi, M. H., Javidi, M., Vatanpour, M., & Esmaeili, H. (2010). The influence of torque and manual glide path on the defect or separation rate of NiTi rotary instruments in root canal therapy. *Indian Journal of Dental Research*, 21(1), 107. <https://doi.org/10.4103/0970-9290.62815>
- Zuolo, M. L., & Walton, R. E. (1997). Instrument deterioration with usage: Nickel-titanium versus stainless steel. *Quintessence International (Berlin, Germany: 1985)*, 28(6), 397-402.



ENDODONTİK TEDAVİDE KRİYOTERAPİ: MEKANİZMA VE KLİNİK UYGULAMALAR

“ ”

Merve Çoban Öksüzer¹
Özge Başar²

1 Dr. Öğr. Üyesi, Pamukkale Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti A. D.,
mervecoban456@gmail.com, Orcid no:0000-0003-3437-0969

2 Uzm Dt., Turkuaz Dental Klinik, basar.ozge@hotmail.com,
Orcid no: 0000-0003-4514-8132

Giriş

Kriyoteapi terim olarak soğukla tedavi anlamına gelen, düşük sıcaklıklar kullanılarak gerçekleştirilen, tedavi amacıyla kullanılan bir uygulamadır. Asıl amaç hedef dokuyu doğrudan soğutmaktan ziyade, yüksek sıcaklıktaki dokudan daha düşük sıcaklıktaki dokuya ısı çekmektedir (Belitsky et al., 1987). MÖ'ki yıllardan beri kullanılan kriyoterapi, 1960'tan itibaren ağrı tedavisi için uygulanmaya başlamıştır (NAYEEMA & SUBHA, 2013). Kriyoterapi tıpta özellikle cerrahi işlemlerden sonraki ağrıyı kontrol etmek için uzun yıllardır kullanılmaktadır. Ayrıca spor sonrası yaralanmalarda, burkulmada, tendinitte, artrit ağrılarında ve bel ağrılarının tedavisinde de kullanılmaktadır (Ahdoot et al., 2019; Watkins et al., 2014). Diş hekimliğinde intraoral ve dentoalveolar cerrahi uygulamalarından sonra ağrı ve şişliği kontrol altına almak amacıyla, temporomandibular eklem hastalıkları ile ilgili komplikasyonların azaltılmasında ve trigeminal nevralji tedavisinde; endodonti özelinde ise postoperatif ağrıyı azaltmak, vital pulpa tedavilerinde hemostaz sağlamak ve dental anestezi ağrısını azaltmak amacıyla kullanılmaktadır (Bashir et al., 2025; Bose et al., 2019; do Nascimento-Júnior et al., 2019; Kheirallah & Ozzo, 2020; Laureano Filho JR et al., 2005; Singhai et al., 2024; Zandi et al., 2016).

1.Mekanizması

Kriyoterapinin doku düzeyindeki etki mekanizması vasküler, nörolojik ve metabolik olmak üzere üçe ayrılır. Eğer doku 15 dakikadan uzun süre düşük sıcaklığa maruz kalırsa ilk olarak damarlarda vazokonstrüsyon meydana gelir, sonrasında bunu soğuk nedenli vazodilatasyon izler. Substance H isimli maddenin salınması vazodilatasyona sebep olur. Sonuçta bölgede artan sıcak kan akışı tekrar vazokonstrüksiyona ve ardından tekrar vazodilatasyona neden olur. Bu sürekli birbiri ardına gerçekleşen vazokonstrüksiyon-vazodilatasyon döngüsü "Hunting Reaksiyonu" olarak adlandırılır. Bu mekanizmanın dokuda oluşan ödemi engellemeye çalışırken izlediği yol vazokonstrüksiyon sonucu azalan damar geçirgenliğinin eksuda/transudanın periradiküler dokuya sızmasını sınırlamasıdır (Juan Sahuquillo & Anna Vilalta, 2007). Sonuç olarak dokuda ödem, hemoraji ve lokal enflamatuvar reaksiyonlar azalmış olur. Böylece sinir uçlarında oluşabilecek baskı ve gerilme azalarak dolaylı olarak analjezi sağlanmış olur (Ernst & Fialka, 1994; Malanga et al., 2015).

Kriyoterapi nosiseptörler üzerinde değişikliğe neden olarak nörolojik etkisini gösterir. Soğuk uygulama sinir iletim hızını yavaşlatarak analjeziye neden olurken, nosiseptörlerden C liflerine göre A-delta sinir liflerinde bu etki daha belirgindir (Ernst & Fialka, 1994). Ayrıca soğukla salınımı artan endorfin analjezik etkinin başlaması için önemli bir ajandır. Endorfin meduller dorsal boynuzdaki opioid reseptörlere bağlanarak ağrının merkezi sinir sistemine iletilmesini önler (Malanga et al., 2015). Kriyoterapi sonucu periferik nöronların ağrı eşikleri yükselir ve kimyasal mediatörlerin salınımı azalır. Dokudaki

sıcaklık değişimiyle uyarılan ağrı reseptörleri, ağrı iletiminin yavaşlamasına veya tamamen durmasına neden olarak omurilikteki ağrı iletimini baskılar. Sonuçta kriyoterapinin lokal olarak uygulanması doğrudan analjezi meydana getirmiş olur (Keskin et al., 2017; Levy & Marmar, 1993; Vera et al., 2015).

Kriyoterapi ayrıca dokuda lokal olarak enzim sistemlerinin fonksiyonunun azalmasına ve hücrenin metabolik aktivitesinin yavaşlamasına neden olur (Laureano Filho JR et al., 2005; Levy & Marmar, 1993). Böylece hücrelerin besin ve oksijen gereksinimi azalır; enerji ihtiyacı ve tüketimi düşer, sonuç olarak dokularda metabolik yan ürünler birikmez. Dokuda meydana gelen bu değişiklikler ile ilk olarak ödem sınırlandırılır, ikinci olarak dokuda oluşacak lezyon ve hasar minimuma indirilmiş olur. Soğuk uygulaması sonucu oluşan vazokonstriksiyon damar geçirgenliğini azaltarak polimorf nüveli lökositlerin damar dışına çıkmasını azaltır. Ek olarak azalan metabolik aktivite fagozitosu kısıtlar. Böylece soğuk uygulamasının enflamatuvar etkisi ortaya çıkmış olur (Karunakara et al., 1999; Knight et al., 2000).

2.Uygulama Protokolü

Kriyoterapi intraoral, extraoral ve intrakanal olarak uygulanabilir. İntraoral olarak gazlı bez içine yerleştirilen buz küplerinin bukkal sulkusa uygulanması ile; extraoral olarak intraoral olarak ilgili bölgeye denk gelecek doku yüzeyine buz aküsü gibi bir araçla; intrakanal olarak da irrigasyon solüsyonunun soğutulup kanal içine uygulanması ile gerçekleştirilir. Endodontide sıklıkla intrakanal uygulama tercih edilmektedir (Akpınar & Kaya, 2021; Gundogdu & Arslan, 2018; Keskin et al., 2017; Solomon et al., 2024; Vieyra et al., 2019). Bir çalışmada kriyoterapinin extraoral, intraoral ve intrakanal uygulamaları karşılaştırılmıştır. Her üç kriyoterapi uygulaması da kontrol grubuna kıyasla daha az postoperatif ağrı görülmüştür. Bu üç kriyoterapi uygulaması kendi aralarında karşılaştırıldıklarında ise intraoral uygulama extraoral uygulamaya göre işlem sonrasında daha az analjezik alınmasına sebep olurken, intrakanal uygulama grubuyla diğer gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır (Gundogdu & Arslan, 2018). İntrakanal ve intraoral kriyoterapiyi karşılaştıran bir diğer çalışmada ise her iki yöntemin de postoperatif ağrıyı azaltmada benzer derecede etkili olduğu gösterilmiştir (Ajeesh et al., 2023). Kriyoterapi, extraoral, intraoral ve intrakanal yönteme ek olarak vital pulpa tedavilerinde ekspoze pulpa üzerine buz veya soğuk irrigasyon solüsyonları ile doğrudan uygulanabilir (Akhil et al., 2024; Singhai et al., 2024).

İntrakanal kriyoajan olarak genellikle serum fizyolojik ve NaOCl kullanılmaktadır; uygulama araçları genellikle negatif veya pozitif basınçlı yöntemler şeklinde tercih edilmektedir. Literatürde kullanılan kriyoajanın türü, konsantrasyonu, kaç dakika hangi araçla uygulanması gerektiği konusunda bir fikir birliği yoktur (Dürüst Barış & Türkyılmaz, 2023).

3.Kriyoterapinin Endodontide Kullanımı

3.1.Postoperatif ağrı yönetiminde kriyoterapi

Kök kanal tedavisi sonrası ağrının kontrol altına alınması çok önemlidir çünkü tedavi sonrası ağrı hem hekim hem de hasta tarafından hoş karşılanmayan olumsuz bir durumdur (Liesinger et al., 1993). Kök kanal tedavisinden sonra görülen postoperatif endodontik ağrı insidansı %3 ila %58 arasında değişir (Sathorn et al., 2008). Postoperatif ağrı pulpal ve periradikuler dokuların mekanik, kimyasal ve mikrobiyal yaralanmalardan sonra oluşturduğu enflamatuvar cevabın bir parçasıdır (ElMubarak et al., 2010; Sathorn et al., 2008). Kriyoterapi endodontik tedavi sonrası postoperatif ağrıyı yönetmek için kullanılabilir; ucuz ve uygulaması kolay bir yöntemdir . Vera ve ark. endodonti alanında kriyoterapinin kullanılmasına ilk ışık tutan araştırmacılarıdır [17].

3.1.1.Primer kök kanal tedavisinde kullanımı

Kriyoterapiyi klinik anlamda endodontide ilk kez kullanan araştırmacılar olan Keskin ve ark. vital iltihaplı pulpaların endodontik tedavisi için bu yöntemi tercih etmişlerdir. Tek seansta pozitif basınçlı irrigasyon ile kriyoterapi uygulamıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre kriyoterapi grubu kontrol grubuna kıyasla postoperatif ağrıyı önemli derecede azaltmıştır [15]. Kriyoterapinin tek seansta kök kanal tedavisi uygulanan vital pulpal dişlerde postoperatif ağrıyı azalttığı literatürdeki diğer çalışmalarla da desteklenmiştir (Al-Nahlawi et al., 2016; Vieyra et al., 2019). Bazaid ve ark. geri dönüşümsüz pulpa iltihabına sahip dişleri periapikal lezyon bulunan ve bulunmayan şeklinde gruplandırmışlar ve bu gruplar arasında kriyoterapi ve kontrol gruplarının karşılaştırmasını yapmışlardır. Yaptıkları çalışmanın sonuçlarına göre apikal periodontitise sahip dişlerde, kriyoterapi grubundaki postoperatif ağrı, kontrol grubuna kıyasla anlamlı derecede azalmasına rağmen, apikal periodontitis olmayan dişlerde herhangi bir farklılık görülmemiştir (Bazaid & Kenawi, 2018). Jain ve ark. yaptıkları çalışmada, intrakanal kriyoterapinin apikal periodontitisli semptomatik geri dönüşümsüz pulpitisli hastalarda yararlı olduğunu, normal periapikal dokuda ise fazla bir fayda sağlamadığını belirtmiştir (Jain et al., 2018). Semptomatik apikal periodontitisli molar dişlerde yapılan bir diğer çalışma sonuçlarına göre tüm kriyoterapi uygulamaları kontrol grubuna kıyasla daha düşük postoperatif ağrı sergilemiştir (Gundogdu & Arslan, 2018). Nandakumar ve Nasim semptomatik geri dönüşümsüz pulpitis veya apikal periodontitis teşhisli dişlerde gerçekleştirdikleri çalışmalarında soğuk (2°C-4°C) ve oda sıcaklığında sodyum hipoklorit (NaOCl) ile intrakanal kriyoterapi uygulaması yapmıştır. Kriyoterapi uygulaması kolay ve uygun maliyetli bir teknik olarak önerilmiştir. Soğuk NaOCl uygulanan grup diğer gruba kıyasla postoperatif endodontik ağrıda önemli bir azalma göstermekle birlikte tedavi sonrası ilk 6 saatte analjezik alımını da azaltmıştır (Nandakumar & Nasim, 2020). Bir sistematik incelemede sıcaklığı 2,5°C ila 6°C arasında olan son yıkama solüsyonu

olarak kullanılan serum fizyolojik veya %17 EDTA'nın (Etilendiamintetraasetik asit) kanal içi kriyoterapide, tek veya çok seanslık kök kanal tedavisini takiben 6 ve 24 saat sonraki postoperatif ağrıyı azalttığı gösterilmiştir. Bu durum semptomatik apikal periodontitis teşhisi konulmuş dişlerde belirgindir (R et al., 2022). Bu alanda yapılan sistematik incelemeler genellikle semptomatik apikal periodontitisli dişlerde intrakanal kriyoterapinin postoperatif endodontik ağrıyı ve ağrı kesici alımına olan ihtiyacı azalttığı gösterilse de kanıt düzeyleri düşük veya orta bulunmuştur (Hespanhol et al., 2022; Monteiro et al., 2021; Patel et al., 2025).

3.1.2. Yeniden kök kanal tedavisinde kullanımı

Kriyoterapi uygulamaları genellikle primer kök kanal tedavileri ile sınırlı kalmıştır, yeniden kök kanal tedavilerindeki bilgiler kısıtlıdır. Ghabraei ve ark. tek köklü ve tek kanallı dişlerde yeniden endodontik tedavi yaptıkları dişlerde 2-4 °C sıcaklığında serum fizyolojik kullanarak intrakanal kriyoterapi uygulamışlardır. Kontrol grubu ile kıyaslandığında kriyoterapi grubunda ilk 6 saatte postoperatif ağrının azalmasında belirgin bir fark bulmuşlardır. Bundan sonraki zaman aralıklarında ve analjezik alımında ise gruplar arasında fark görülmemiştir (Ghabraei et al., 2024). Mumcu ve ark. asemptomatik apikal periodontitise sahip mandibular premolarların yeniden tedavisinde 2,5 °C sıcaklığında serum fizyolojik kullanmışlardır. Kriyoterapi grubunda kontrol grubuna kıyasla postoperatif 6 ve 12 saatte anlamlı derecede daha az ağrı görülmüştür. Analjezik kullanımı açısından kriyoterapi grubu daha az kullanım bildirirse de bu fark anlamlı değildir (Kaya Mumcu et al., 2025).

3.2. Vital pulpa tedavilerinde kriyoterapi

Vital pulpa tedavileri pulpanın hayatta kalmasını ve dişin vitalitesini sürdürmesine olanak tanıyan bir dizi tedavi seçeneğini içerir (İbrahim, 2019). Pulpa dokusunun enfekte kısmı uzaklaştırıldıktan sonra kalan pulpanın üzeri biyouyumlu bir materyal ile örtülüp dişin işlevini geri kazanması amaçlanır (Kodonas et al., 2021). Expoze pulpa biyouyumlu bir materyal ile örtülmeden önce kanamanın belirli limitler içinde durması gerekir. Bunun için en sık kullanılan hemostatik ajan NaOCl'dir (Asgary, 2020). Bunun yanı sıra Singhai ve ark. mandibular molar bir dişe uyguladıkları pulpotomi işleminde pulpa üzerine pulpa kök hücrelerini yok ettiği ve dentin büyüme faktörlerinin salınımını azalttığı için NaOCl yerine yaklaşık 1 dakika boyunca ezilmiş steril buz uygulamışlardır. Ardından pulpayı MTA ile örtüleyip daimi restorasyonunu tamamlamışlardır. Dişin kısa dönem takibinde asemptomatik olduğu, perküsyon duyarlılığının olmadığı ve pulpa vitalite testlerine pozitif yanıt verdiği bildirilmiştir (Singhai et al., 2024). Akhil ve ark. periapikal hastalığı bulunmayan semptomatik geri dönüşümsüz pulptitisli 60 mandibular molar dişe yaptıkları total pulpotomi işleminde kanama durdurucu ajan olarak %2,5 NaOCl (gelecekteki pulpotomi grubu) ve 2,5 °C sıcaklığında serum fizyolojik (kriyoterapi)

pi grubu) kullanmışlardır. Hemostazın ardından pulpayı MTA ile örtüleyip daimi restorasyonunu yapmışlardır. Çalışmanın sonuçlarına göre kriyoterapi grubunda daha kısa sürede hemostaz sağlanmıştır. Postoperatif 24 ve 48 saatte kriyoterapi grubundaki ağrı azalması çok daha belirgindir. 12 aylık takipte ise her iki grupta da genel başarı oranı aynı görülmüştür (Akhil et al., 2024). Yapılan bir diğer klinik çalışmada semptomatik geri dönüşümsüz pulpitis bulunan molar dişlere total pulpotomi işlemi uygulanmıştır. Hemostatik ajan olarak hem kontrol grubunda hem de kriyoterapi grubunda %2,5 NaOCl kullanılmıştır, kriyoterapi grubunda ek olarak hemostazdan sonra pulpotomi alanı 2,5 °C sıcaklığındaki serum fizyolojik ile 5 dakika irriye edilmiştir. Hemostazın ardından pulpa MTA ile örtülenip daimi restorasyonu yapılmıştır. Çalışmanın sonuçlarında her iki gruptaki analjezik alımı da benzerdir. Çalışmanın sonuçlarında kriyoterapi grubunda erken dönemde postoperatif ağrı daha az görülmüştür. Kriyoterapi grubundaki 6 ve 12 saatlik ağrı puanları anlamlı olarak kontrol grubuna göre daha düşük; 24, 48 ve 72 saatlerdeki postoperatif ağrı puanları ise benzer bulunmuştur (Gürler & Yılmaz, 2025). Sonuç olarak kriyoterapinin hemostatik etkisinden (Lee et al., 2005) yararlanılarak vital pulpa tedavilerinde görülen postoperatif ağrı ihtimali minimuma indirilebilir.

3.3.Krioterapinin lokal anestezi ile birlikte uygulanması

Endodontik tedaviler için genellikle herhangi bir ağrı olmadan derin pulpa anestezisi sağlamak oldukça zordur. İlgili bölgedeki doku pH'ının azalması, istirahat membran potansiyelinin değişmesi ve buna bağlı uyarılma eşiklerinin düşmesi, tetrododoksine dirençli sodyum kanallarının varlığı, nosiseptörlerin aktivasyonu ve psikolojik etmenlere bağlı bireyin ağrı eşiğinin düşmesi gibi birçok neden bulunabilir (Modaresi et al., 2016; Najjar, 1977; Wallace et al., 1985). Özellikle mandibular molar dişlerde lokal anestezi sağlamak için kullanılan inferior alveolar sinir bloğu semptomatik geri dönüşümsüz pulpitisli dişlerde her zaman başarılı pulpal anestezi ile sonuçlanmaz (Mohammadi et al., 2013). Kriyoterapi nosiseptörleri etkileyerek ve sinir iletim hızını düşürerek anestezik etkiyi güçlendirebilir (Ernst & Fialka, 1994). Bu mantıktan yola çıkarak Gurucharan ve ark. semptomatik geri dönüşümsüz pulpitisli maksiller molar dişlerde enjeksiyon bölgesinin önceden soğutulmasının ve soğutulmuş epinefrinli lignokain çözeltisinin uygulanmasının (kriyoterapi grubu) analjezik ve anestezik etkilerini değerlendirmişlerdir. Kontrol grubunda topikal jel ve geleneksel lokal anestezi infiltrasyonu uygulanmışlardır. Kriyoterapi grubu kontrol grubu ile karşılaştırıldığında yüksek bir başarı oranı ve enjeksiyon ağrısında anlamlı bir azalma gözlenmiştir. Ayrıca kriyoterapi grubu için anestezi başlangıç süresi de kontrol grubuna kıyasla önemli ölçüde daha düşük bulunmuştur. Böyle vakalarda kriyoterapi uygulanması anestezinin hızlı başlangıcı ve enjeksiyon ağrısının azaltılması için etkili ve alternatif bir seçenek olabilir (Gurucharan et al., 2022). Topçuoğlu ve ark. semptomatik geri dönüşümsüz pulpitisli hastalarda preoperatif intraoral kriyoterapi uygulamasının inferior

alveolar sinir blokajının başarı oranı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Kontrol grubunda %2 lidokain enjeksiyonu, kriyoterapi grubunda ise enjeksiyonu takiben 5 dakika boyunca intraoral kriyoterapi uygulaması yapılmıştır. Kriyoterapi grubunda anestezinin başarı oranı %55,8 iken, kontrol grubunda %30,8 şeklinde anlamlı olarak farklı çıkmıştır. Araştırmacılar intraoral kriyoterapi uygulamasını semptomatik geri dönüşümsüz pulpitisli mandibular molar dişlerin inferior alveolar sinir blokajı için önermişlerdir (Topçuoğlu et al., 2019).

Sonuç

Kriyoterapi, endodontik tedavilerde özellikle postoperatif ağrı kontrolü ve hasta konforunun artırılması amacıyla kullanılabilecek, uygulanması kolay ve düşük maliyetli yardımcı bir yöntem olarak endodonti pratiğinde giderek daha fazla ilgi görmektedir. Mevcut kanıtlar, kriyoterapinin semptomatik apikal periodontitisli olgularda erken dönem postoperatif ağrıyı azaltmada fayda sağlayabildiğini; vital pulpa tedavilerinde ise hemostazın sağlanmasına ve erken dönemde ağrı kontrolüne katkıda bulunabileceğini düşündürmektedir. Buna karşın, klinik uygulamalarda kriyoajanın ideal sıcaklığı, uygulama süresi ve yöntemi konusunda henüz tam bir standardizasyonun bulunmaması, gelecekteki çalışmaların odak noktasını oluşturmalıdır.

Kaynakça

- [1] R. B. Belitsky, S. J. Odam, and C. Hubley-Kozey, "Evaluation of the Effectiveness of Wet Ice, Dry Ice, and Cryogen Packs in Reducing Skin Temperature," *Phys Ther*, vol. 67, no. 7, pp. 1080–1084, Jul. 1987, doi: 10.1093/ptj/67.7.1080.
- [2] S. NAYEEMA and D. R. SUBHA, "Cryotherapy–a novel treatment modality in oral lesions," *Int J Pharm Pharm Sci*, 2013.
- [3] A. A. Watkins *et al.*, "Ice Packs Reduce Postoperative Midline Incision Pain and Narcotic Use: A Randomized Controlled Trial," *J Am Coll Surg*, vol. 219, no. 3, pp. 511–517, Sep. 2014, doi: 10.1016/j.jamcollsurg.2014.03.057.
- [4] M. Ahdoot, A. H. Lebastchi, B. Turkbey, B. Wood, and P. A. Pinto, "Contemporary treatments in prostate cancer focal therapy," *Curr Opin Oncol*, vol. 31, no. 3, pp. 200–206, May 2019, doi: 10.1097/CCO.0000000000000515.
- [5] E. M. do Nascimento-Júnior *et al.*, "Cryotherapy in reducing pain, trismus, and facial swelling after third-molar surgery," *The Journal of the American Dental Association*, vol. 150, no. 4, pp. 269–277.e1, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.adaj.2018.11.008.
- [6] M. Zandi, P. Amini, and A. Keshavarz, "Effectiveness of cold therapy in reducing pain, trismus, and oedema after impacted mandibular third molar surgery: a randomized, self-controlled, observer-blind, split-mouth clinical trial," *Int J Oral Maxillofac Surg*, vol. 45, no. 1, pp. 118–123, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.ijom.2015.10.021.
- [7] A. F. Bashir *et al.*, "Evaluation of Post-Endodontic Pain Reduction Using Intracanal Cryotherapy in Symptomatic Apical Periodontitis," *Australian Endodontic Journal*, vol. 51, no. 3, pp. 677–683, Dec. 2025, doi: 10.1111/aej.12983.
- [8] J. R. LAUREANO FILHO, E. D. de OLIVEIRA e SILVA, I. B. CAMARGO, and F. M. V. GOUVEIA, "The influence of cryotherapy on reduction of swelling, pain and trismus after third-molar extraction," *The Journal of the American Dental Association*, vol. 136, no. 6, pp. 774–778, Jun. 2005, doi: 10.14219/jada.archive.2005.0261.
- [9] M. Kheirallah and S. Ozzo, "Management of trigeminal neuralgia. A comparison of two techniques," *Oral Surg*, vol. 13, no. 2, pp. 117–124, May 2020, doi: 10.1111/ors.12475.
- [10] S. Bose, N. Garg, L. Pathivada, and R. Yeluri, "Cooling the soft tissue site and its effect on perception of pain during infiltration and block anesthesia in children undergoing dental procedures: A comparative study," *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects*, vol. 13, no. 3, pp. 159–165, Dec. 2019, doi: 10.15171/joddd.2019.025.
- [11] S. Singhai, S. Mantri, B. Paul, K. Dube, and K. P. Taori, "Cryotherapy in the Management of Vital Pulp: A Case Report," *Cureus*, Jun. 2024, doi: 10.7759/cureus.61574.
- [12] Juan Sahuquillo and Anna Vilalta, "Cooling the Injured Brain: How Does

- Moderate Hypothermia Influence the Pathophysiology of Traumatic Brain Injury,” *Curr Pharm Des*, vol. 13, no. 22, pp. 2310–2322, Aug. 2007, doi: 10.2174/138161207781368756.
- [13] G. A. Malanga, N. Yan, and J. Stark, “Mechanisms and efficacy of heat and cold therapies for musculoskeletal injury,” *Postgrad Med*, vol. 127, no. 1, pp. 57–65, Jan. 2015, doi: 10.1080/00325481.2015.992719.
- [14] E. Ernst and V. Fialka, “Ice freezes pain? A review of the clinical effectiveness of analgesic cold therapy,” *J Pain Symptom Manage*, vol. 9, no. 1, pp. 56–59, Jan. 1994, doi: 10.1016/0885-3924(94)90150-3.
- [15] C. Keskin, Ö. Özdemir, İ. Uzun, and B. Güler, “Effect of intracanal cryotherapy on pain after single-visit root canal treatment,” *Australian Endodontic Journal*, vol. 43, no. 2, pp. 83–88, Aug. 2017, doi: 10.1111/aej.12175.
- [16] A. S. Levy and E. Marmar, “The role of cold compression dressings in the postoperative treatment of total knee arthroplasty,” *Clin Orthop Relat Res*, no. 297, pp. 174–8, Dec. 1993.
- [17] J. Vera, J. Ochoa-Rivera, M. Vazquez-Carcaño, M. Romero, A. Arias, and P. Sleiman, “Effect of Intracanal Cryotherapy on Reducing Root Surface Temperature,” *J Endod*, vol. 41, no. 11, pp. 1884–1887, Nov. 2015, doi: 10.1016/j.joen.2015.08.009.
- [18] K. L. Knight, J. B. Brucker, P. D. Stoneman, and M. D. Rubley, “Muscle Injury Management with Cryotherapy,” *Athletic Therapy Today*, vol. 5, no. 4, pp. 26–30, Jul. 2000, doi: 10.1123/att.5.4.26.
- [19] R. G. Karunakara, S. M. Lephart, and D. M. Pincivero, “Changes in Forearm Blood Flow During Single and Intermittent Cold Application,” *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, vol. 29, no. 3, pp. 177–180, Mar. 1999, doi: 10.2519/jospt.1999.29.3.177.
- [20] E. C. Gundogdu and H. Arslan, “Effects of Various Cryotherapy Applications on Postoperative Pain in Molar Teeth with Symptomatic Apical Periodontitis: A Preliminary Randomized Prospective Clinical Trial,” *J Endod*, vol. 44, no. 3, pp. 349–354, Mar. 2018, doi: 10.1016/j.joen.2017.11.002.
- [21] J. Vieyra, F. Enriquez, F. Acosta, and J. Guardado, “Reduction of Postendodontic Pain after One-visit Root Canal Treatment Using Three Irrigating Regimens with Different Temperature,” *Niger J Clin Pract*, vol. 22, no. 1, pp. 34–40, Jan. 2019, doi: 10.4103/njcp.njcp_349_18.
- [22] R. Solomon, S. Paneeru, C. Swetha, and R. Yatham, “Comparative evaluation of effect of intracanal cryotherapy and corticosteroid solution on post endodontic pain in single visit root canal treatment,” *J Clin Exp Dent*, pp. e250–e256, 2024, doi: 10.4317/jced.61023.
- [23] K. Akpınar and F. Kaya, “Effect of Different Clinical Practices on Postoperative Pain in Permanent Mandibular Molar Teeth with Symptomatic Apical Periodontitis,” *Niger J Clin Pract*, vol. 24, no. 1, pp. 8–16, Jan. 2021, doi: 10.4103/njcp.njcp_16_20.

- [24] K. Ajeesh, S. Jayasree, E. P. James, K. P. Pooja, and F. Jauhara, "Comparative evaluation of the effectiveness of intracanal and intraoral cryotherapy on post-tendodontic pain in patients with symptomatic apical periodontitis: A randomized clinical trial," *Journal of conservative dentistry and endodontics*, vol. 26, no. 5, pp. 555–559, 2023, doi: 10.4103/jcd.jcd_284_23.
- [25] V. Akhil *et al.*, "Novel cryotherapy technique for pulpotomy in mature permanent teeth with symptomatic irreversible pulpitis- a randomized controlled trial," *Clin Oral Investig*, vol. 28, no. 5, p. 275, Apr. 2024, doi: 10.1007/s00784-024-05661-y.
- [26] S. DÜRÜST BARIŞ and A. TÜRKYILMAZ, "Endodontide Post-operatif Ağrı Yönetimine Güncel bir Yaklaşım: Kriyoterapi," *European Journal of Research in Dentistry*, vol. Cilt:7 Sayı:3, no. Cilt:7 Sayı:3, pp. 163–171, 2023, doi: 10.29228/erd.62.
- [27] A. Liesinger, F. J. Marshall, and J. G. Marshall, "Effect of variable doses of dexamethasone on posttreatment endodontic pain," *J Endod*, vol. 19, no. 1, pp. 35–39, Jan. 1993, doi: 10.1016/S0099-2399(06)81039-3.
- [28] C. Sathorn, P. Parashos, and H. Messer, "The prevalence of postoperative pain and flare-up in single- and multiple-visit endodontic treatment: a systematic review," *Int Endod J*, vol. 41, no. 2, pp. 91–99, Feb. 2008, doi: 10.1111/j.1365-2591.2007.01316.x.
- [29] A. H. H. ElMubarak, N. H. Abu-bakr, and Y. E. Ibrahim, "Postoperative Pain in Multiple-visit and Single-visit Root Canal Treatment," *J Endod*, vol. 36, no. 1, pp. 36–39, Jan. 2010, doi: 10.1016/j.joen.2009.09.003.
- [30] T. Al-Nahlawi, T. A. Hatab, M. A. Alrazak, and A. Al-Abdullah, "Effect of Intracanal Cryotherapy and Negative Irrigation Technique on Postendodontic Pain.," *J Contemp Dent Pract*, vol. 17, no. 12, pp. 990–996, Dec. 2016.
- [31] D. S. Bazaid and L. MM. Kenawi, "The effect of intracanal cryotherapy in reducing postoperative pain in patients with irreversible pulpitis: a randomized control trial," *Int J Health Sci Res*, vol. 8, no. 2, pp. 83–88, 2018.
- [32] A. Jain *et al.*, "Role of Cryotherapy in Reducing Postoperative Pain In Patients With Irreversible Pulpitis; An In-Vivo Study," *International Journal Dental and Medical Sciences Research*, vol. 2, no. 10, pp. 43–49, 2018.
- [33] M. Nandakumar and I. Nasim, "Effect of intracanal cryotreated sodium hypochlorite on postoperative pain after root canal treatment - A randomized controlled clinical trial," *Journal of Conservative Dentistry*, vol. 23, no. 2, p. 131, 2020, doi: 10.4103/JCD.JCD_65_20.
- [34] Dr. H. V. R, Dr. V. M. J, and Dr. P. J. S, "Effectiveness of Intracanal Cryotherapy using Different Irrigants on Reduction of Post Endodontic Pain – A Systematic Review and Meta-analysis," *Int. J Pharm Sci Rev Res*, pp. 161–172, Feb. 2022, doi: 10.47583/ijpsrr.2022.v72i02.022.
- [35] L. P. B. Monteiro, M. Y. R. Guerreiro, R. de Castro Valino, M. B. Magno, L. C. Maia, and J. M. da Silva Brandão, "Effect of intracanal cryotherapy applicati-

- on on postoperative endodontic pain: a systematic review and metaanalysis,” *Clin Oral Investig*, vol. 25, no. 1, pp. 23–35, Jan. 2021, doi: 10.1007/s00784-020-03693-8.
- [36] F. G. Hespanhol, L. S. Guimarães, L. A. A. Antunes, and L. S. Antunes, “Effect of intracanal cryotherapy on postoperative pain after endodontic treatment: systematic review with meta-analysis,” *Restor Dent Endod*, vol. 47, no. 3, 2022, doi: 10.5395/rde.2022.47.e30.
- [37] N. K. Patel, P. Doshi, S. R. Dalal, P. R. Kesharani, S. S. Shah, and M. H. Kale, “Impact of intracanal cryotherapy on postoperative pain in symptomatic apical periodontitis: A systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials,” *Endodontology*, vol. 37, no. 2, pp. 101–109, Apr. 2025, doi: 10.4103/endo.endo_318_24.
- [38] S. Ghabraei, F. Afkhami, M. M. Kiafar, M. J. Kharazifard, and O. A. Peters, “Effect of intracanal cryotherapy on post-operative pain in single-visit endodontic retreatment: a randomized clinical trial,” *BMC Oral Health*, vol. 24, no. 1, p. 1539, Dec. 2024, doi: 10.1186/s12903-024-05249-8.
- [39] A. Kaya Mumcu, E. Tuzcu, S. Kurnaz, and G. Kiraz, “Evaluation of the effect of intracanal cryotherapy on postoperative pain after retreatment: a randomized controlled clinical trial,” *Clin Oral Investig*, vol. 29, no. 7, p. 355, Jun. 2025, doi: 10.1007/s00784-025-06435-w.
- [40] S. Ibrahim, “Vital Pulp Therapy An insight over the available literature and future expectations,” *Eur Endod J*, 2019, doi: 10.14744/eej.2019.44154.
- [41] K. Kodonas, A. Fardi, C. Gogos, and N. Economides, “Scientometric analysis of vital pulp therapy studies,” *Int Endod J*, vol. 54, no. 2, pp. 220–230, Feb. 2021, doi: 10.1111/iej.13422.
- [42] S. Asgary, “Importance of ‘Time’ on ‘Haemostasis’ in Vital Pulp Therapy,” *Eur Endod J*, 2020, doi: 10.14744/eej.2020.82574.
- [43] K. Gürler and K. Yilmaz, “The Effect of Novel Cryotherapy Technique on Postoperative Pain for Pulpotomy in Permanent Molars with Symptomatic Irreversible Pulpitis: A Randomized Controlled Trial,” *J Endod*, vol. 51, no. 5, pp. 547–553, May 2025, doi: 10.1016/j.joen.2025.01.020.
- [44] H. LEE, H. NATSUI, T. AKIMOTO, K. YANAGI, N. OHSHIMA, and I. KONO, “Effects of Cryotherapy after Contusion Using Real-Time Intravital Microscopy,” *Med Sci Sports Exerc*, vol. 37, no. 7, pp. 1093–1098, Jul. 2005, doi: 10.1249/01.mss.0000169611.21671.2e.
- [45] J. Modaresi, A. Davoudi, H. Badrian, and R. Sabzian, “Irreversible pulpitis and achieving profound anesthesia: Complexities and managements,” *Anesth Essays Res*, vol. 10, no. 1, p. 3, 2016, doi: 10.4103/0259-1162.164675.
- [46] J. A. Wallace, A. E. Michanowicz, R. D. Mundell, and E. G. Wilson, “A pilot study of the clinical problem of regionally anesthetizing the pulp of an acutely inflamed mandibular molar,” *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, vol. 59, no. 5, pp. 517–521, May 1985, doi: 10.1016/0030-4220(85)90095-7.

- [47] T. A. Najjar, “Why can’t you achieve adequate regional anesthesia in the presence of infection?,” *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, vol. 44, no. 1, pp. 7–13, Jul. 1977, doi: 10.1016/0030-4220(77)90234-1.
- [48] Z. Mohammadi, S. Shalavi, and M. Chavoshi, “Effect of needle bevel direction on the success rate of intra-ligament injection technique: A single-blinded clinical trial,” *International Journal of Clinical Dentistry*, vol. 6, no. 4, pp. 349–353, 2013.
- [49] I. Gurucharan, M. Sekar, S. Balasubramanian, and S. Narasimhan, “Effect of precooling injection site and cold anesthetic administration on injection pain, onset, and anesthetic efficacy in maxillary molars with symptomatic irreversible pulpitis: a randomized controlled trial,” *Clin Oral Investig*, vol. 26, no. 2, pp. 1855–1860, Feb. 2022, doi: 10.1007/s00784-021-04160-8.
- [50] H. S. Topçuoğlu, H. Arslan, G. Topçuoğlu, and S. Demirbuga, “The Effect of Cryotherapy Application on the Success Rate of Inferior Alveolar Nerve Block in Patients with Symptomatic Irreversible Pulpitis,” *J Endod*, vol. 45, no. 8, pp. 965–969, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.joen.2019.05.001.



ENDODONTİK İNFLAMASYONUN MOLEKÜLER VE İMMÜNOLOJİK DEĞERLENDİRİLMESİNDE MATRİKS METALLOPROTEİNAZLAR

“ ”

¹Esin ÖZLEK

1 Doç. Dr., Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Klinik Bilimler Bölümü,
Endodonti AD, esin_ozlek@hotmail.com, ORCID iD: 0000-0003-1146-284X

Endodontik hastalıkların patogenezi, mikroorganizmaların pulpaya ulaşmasıyla başlayan ve periapikal dokulara doğru ilerleyen çok yönlü bir immün yanıt sürecine dayanır. Konak dokular, enfeksiyonu sınırlamak ve doku bütünlüğünü korumak amacıyla çeşitli hücrel ve kimyasal savunma mekanizmalarını devreye sokar (1). Pulpal dokunun inflamatuvar yanıtı; makroskobik, mikroskobik ve moleküler düzeylerde gerçekleşen çok aşamalı bir biyolojik süreçtir. Makroskobik olarak vazodilatasyon ve artmış damar permeabilitesi belirginleşirken, mikroskobik incelemelerde immün hücre infiltrasyonunun artmaktadır (2).

Endodontik tedavinin temel amacı, kök kanalındaki mikrobiyal yükü mümkün olan en düşük seviyeye indirerek enfeksiyonu kontrol altına almak ve periradiküler dokuların iyileşmesini sağlamaktır. Ancak mikrobiyal yükün azaltılması klinik başarı için gerekli olmakla birlikte, tek başına yeterli değildir; konak immün yanıtı, hastalığın şiddeti, progresyonu ve tedaviye verilen yanıt üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır (3).

Endodontide tanı klinik semptomların değerlendirilmesi ile termal testler, elektriksel pulpa testi ve radyografiler ile konulmaktadır (4). Ancak bu yöntemler klinik pratiğin vazgeçilmezi olmakla birlikte, inflamasyonun biyolojik aktivitesini yansıtmada sınırlı kalmaktadır (5). Bu nedenle araştırmalar, pulpal ve periapikal immün yanıtın moleküler düzeyde değerlendirilmesine odaklanmış ve biyobelirteç analizleri endodontik literatürde giderek daha fazla önem kazanmaya başlamıştır (2).

Matriks Metalloproteinazlar

Ekstrasellüler matriks yıkımının temel düzenleyicileri arasında yer alan matriks metalloproteinazlar (MMP), pulpal inflamasyonun patogeneziinde uzun süredir ilgi odağı olmuştur. Endopeptidazlar olan bu enzimler, kollajenler, jelatin ve diğer matriks bileşenlerinin yıkımından sorumlu olup; fizyolojik doku yenilenmesi ile patolojik doku destruksiyonu arasındaki dengeyi belirleyen kritik moleküller olarak kabul edilmektedir (5). Pulpal dokuda fibroblastlar, endotelial hücreler, odontoblastlar ve inflamatuvar hücreler tarafından sentezlenebilen MMP'ler, inflamasyonun evresi ve hücrel bileşimine bağlı olarak farklı ekspresyon ve aktivasyon profilleri sergilemektedir (6).

MMP'ler, farklı alt gruplara ayrılmakla birlikte, pulpal inflamasyon ve doku yıkımı açısından özellikle kollajenazlar (MMP-1, MMP-8 ve MMP-13) ve jelatinazlar (MMP-2 ve MMP-9) ön plana çıkmaktadır. Bu enzimler, kollajenler ve lamininler gibi temel ekstrasellüler matriks ve bazal membran bileşenlerinin yıkımında rol oynayarak, inflamasyonun ilerlemesi ve doku bütünlüğünün bozulmasında belirleyici etki göstermektedir. Bununla birlikte MMP aktivitesi yalnızca gen ekspresyonu ile değil, latent ve aktif formlar arasındaki dönüşüm ile endojen inhibitörler olan doku metalloproteinaz in-

hibitörleri (TIMP'ler) tarafından da düzenlenmektedir (7). Bu çok katmanlı düzenleyici yapı, pulpal inflamasyonda ekstraselüler matriks yıkımının kontrolsüz bir süreç olmadığını, aksine doku yıkımı ile onarım mekanizmaları arasında dinamik bir denge bulunduğunu göstermektedir.

Son yıllarda, matriks metalloproteinazların pulpal ve periapikal inflamasyondaki rolünü aydınlatmaya yönelik çalışmalar, bu moleküllerin yalnızca pulpa dokusundan elde edilen klasik histolojik ve moleküler örneklerle sınırlı kalmadığını ortaya koymuştur. Başlangıçta MMP analizleri çoğunlukla pulpa dokusu üzerinden gerçekleştirilirken, ilerleyen çalışmalarda dentinal sıvı ve pulpal kaynaklı kan örneklerinin de inflamatuvar süreçlere ilişkin biyolojik bilgiler sunduğu gösterilmiştir (2). Daha sonraki aşamalarda ise, dişi eti oluşu sıvısı (DOS) gibi daha az invaziv örnekleme yöntemlerinin kullanımı giderek artmakta; bu biyolojik ortamların, pulpal ve periapikal dokulardaki inflamasyonun lokal ve sistemik bulguları yansıtabileceği bildirilmektedir (6,8). Farklı biyolojik örneklerin kullanılması, MMP'lerin inflamasyonun biyolojik aktivitesini ve doku yıkımının daha bütüncül bir perspektifle değerlendirmeye olanak tanımakta; aynı zamanda bu moleküllerin tanı, hastalık aktivitesinin izlenmesi ve tedavi yanıtının değerlendirilmesindeki potansiyelini güçlendirmektedir.

Endodontik İnflamasyonda Farklı Biyolojik Örneklerde Matriks Metalloproteinaz Bulguları

Gusman ve ark. (9), klinik olarak sağlıklı ve semptomatik pulpitis tanısı konmuş hastalardan alınan pulpa dokularındaki matriks metalloproteinaz (MMP) düzeyleri ile genel gelatinolitik aktiviteyi değerlendirmiştir. Çalışmada, semptomatik pulpitisli dişlerden elde edilen inflamasyon pulpa dokuları ile ortodontik nedenlerle çekilen sağlıklı dişlerden elde edilen pulpa dokuları karşılaştırılmış; MMP-1, MMP-2, MMP-3 ve MMP-9 düzeyleri ELISA yöntemiyle ölçülmüş, doku yıkımının fonksiyonel göstergesi olarak ise gelatin zimografisi kullanılmıştır. Bulgular, MMP-1'in her iki grupta da saptanamaz düzeyde olduğunu, MMP-2 ve MMP-3 düzeylerinin inflamasyon pulpada sağlıklı pulpa dokularına kıyasla daha düşük seyrettiğini; buna karşılık MMP-9 düzeylerinin inflamasyon pulpalarda belirgin biçimde arttığını ortaya koymuştur. Ayrıca, inflamasyon pulpa dokularında toplam gelatinolitik aktivitenin anlamlı derecede yüksek olduğu ve bu aktivitenin MMP-9 düzeyleri ile güçlü bir pozitif korelasyon gösterdiği bildirilmiştir. Araştırmacılar, tartışma bölümünde bu bulguları özellikle polimorfonükleer lökositlerden salınan MMP-9'un akut pulpal inflamasyonda doku yıkımında merkezi bir rol oynayabileceği şeklinde yorumlamıştır. Bununla birlikte, semptomatik pulpitis tanısı konmuş bazı olgularda MMP-9 düzeylerinin düşük bulunmasının, ağrının her zaman ileri derecede doku yıkımı ile ilişkili olmadığını gösterdiği ve klinik semptomlar ile moleküler değişiklikler arasındaki ilişkinin heterojen olabileceği özellikle belirtilmiştir. Araştırmacılar, bu nedenle pulpal sağlığın değerlendirilmesinde

yalnızca klinik ve radyografik bulgulara dayalı yaklaşımların yetersiz kalabileceğini, moleküler parametrelerin tanısal açıdan umut verici olmakla birlikte tek başına belirleyici olmadığını da belirtmiştir.

Shin ve ark. (10), inflame pulpa dokusundaki ve periapikal lezyonlardaki matriks metalloproteinaz-1, -2 ve -3 (MMP-1, -2, -3) düzeylerini ve bu enzimlerin doku içi dağılımlarını değerlendirmiştir. Akut pulpitis, kronik pulpitis, periapikal lezyon ve kontrol gruplarından elde edilen örneklerde MMP düzeyleri ELISA yöntemiyle analiz edilmiştir. Ayrıca, immünohistokimyasal incelemelerle MMP'lerin hücresel ve ekstrasellüler matriks içindeki lokalizasyonları gösterilmiştir. MMP-1 düzeylerinin tüm hastalık gruplarında kontrol grubuna kıyasla anlamlı derecede yüksek olduğunu; MMP-2 düzeylerinin özellikle akut pulpitis grubunda kontrol grubundan farklılık gösterdiğini ve MMP-3 düzeylerinin akut pulpitis grubunda hem kontrol hem de kronik pulpitis grubuna kıyasla belirgin biçimde arttığı rapor edilmiştir. İmmünohistokimyasal değerlendirmelerde ise MMP-1 ve MMP-3'ün akut pulpitis grubunda başta nötrofiller ve makrofajlar olmak üzere inflamatuvar hücreler çevresindeki ekstrasellüler matrikste yoğunlaştığı belirlenmiştir. Araştırmacılar, klinik tanı ile histolojik görünüm arasında her zaman doğrudan bir uyum bulunmadığını, akut pulpitis tanısı konmuş birçok vakada kronik inflamatuvar hücre infiltrasyonunun saptanabildiğini; buna karşılık kronik pulpitis tanısı alan bazı olgularda belirgin patolojik değişikliklerin izlenmeyebildiğini vurgulamıştır. Klinik tanıda subjektif semptomların, özellikle ağrının, sıklıkla temel belirleyici olarak kullanıldığı; ancak bu semptomların zaman zaman yanıltıcı olabildiği ifade edilmiştir. Sonuç olarak, akut pulpitis grubunda saptanan yüksek MMP düzeylerinin aktif inflamatuvar süreçle ilişkili olabileceği ileri sürülmüş; bu durumun, MMP-1, -2 ve -3'ün başlıca fibroblastlar, endotel hücreleri, makrofajlar ve diğer inflamatuvar hücreler tarafından salgılanmasına bağlı olabileceği belirtilmiştir.

Literatürde Gusman ve ark. (9) ile Shin ve ark. (10) tarafından yapılan bu iki çalışmada, matriks metalloproteinazların pulpal inflamasyondaki rolü farklı açılardan ele alınmıştır. Gusman ve ark., semptomatik pulpitis olgularında özellikle nötrofil kökenli MMP-9'un artışı ve buna eşlik eden yüksek gelatinitik aktivite üzerinden doku yıkımının fonksiyonel boyutuna odaklanırken; Shin ve ark. (10), MMP-1, -2 ve -3'ün hücresel kaynaklarını ve doku içi dağılımlarını değerlendirerek pulpal inflamasyona eşlik eden moleküler değişikliği ortaya koymuştur. Bu iki yaklaşım birlikte ele alındığında, inflamasyonun evresi ve hücresel bileşimine bağlı olarak farklı MMP'lerin baskın hâle gelebileceği anlaşılmaktadır.

Literatürde pulpal inflamasyonun değerlendirilmesinde dentinal sıvının tanısal bir örnekleme olarak kullanıldığı ilk çalışma, Zehnder ve ark. (11) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu pilot çalışmada, klinik olarak irreversibl pulpitis tanısı konmuş semptomatik dişler ile sağlıklı pulpaya sahip dişlerden

elde edilen dentinal sıvı örneklerinde nötrofil kaynaklı matriks metalloproteinaz-9 (MMP-9) düzeyleri değerlendirilmiştir. Semptomatik pulpitisli dişlerden elde edilen dentinal sıvılarda MMP-9 düzeylerinin sağlıklı kontrol grubuna kıyasla istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek olduğu bildirilmiştir. Buna karşın, pulpitis grubundaki örneklerin yalnızca bir kısmında MMP-9'un saptanabilmiş olması, dentinal sıvı miktarındaki bireysel farklılıklar ve dentin geçirgenliğindeki değişkenlik ile ilişkilendirilmiştir. Araştırmacılar, bu çalışmayla dentinal sıvının pulpal inflamasyona ait biyolojik süreçleri yansıtabilen potansiyel bir tanısal ortam sunduğunu; ancak örnekleme yöntemlerinin standardizasyonu ve uzun dönem takip çalışmaları olmaksızın klinik karar verme sürecinde tek başına belirleyici olamayacağını belirtmiştir.

Tsai ve ark. (12), sağlıklı ve enflamatuvar pulpa dokularının MMP-9 ekspresyonunu moleküler ve histolojik düzeyde değerlendirmiştir. Yarı kantitatif RT-PCR analizleri, inflame pulpalarda MMP-9 mRNA düzeylerinin sağlıklı pulpalara kıyasla anlamlı derecede arttığını göstermiştir. İmmünohistokimyasal incelemelerde ise MMP-9 pozitifliğinin yalnızca inflamatuvar hücre infiltrasyonları ile sınırlı kalmadığı; odontoblastlar, fibroblastlar ve endotelial hücrelerde de belirgin biçimde saptandığı bildirilmiştir. Araştırmacılar MMP-9'un, pulpal inflamasyonun ilerlemesinde ve doku yıkımının düzenlenmesinde önemli bir role sahip olabileceği bildirmiştir.

Accorsi-Mendonça ve ark. (13), sağlıklı ve enflamatuvar pulpa örneklerinde MMP-2 ve MMP-9'un gelatinolitik aktivitesi, bunların endojen inhibitörü olan TIMP-2 ekspresyonu ve nötrofil infiltrasyonunun göstergesi olarak miyeloperoksidaz (MPO) düzeyleri incelemiştir. Zimografi analizleri, inflame pulpaların MMP-9 açısından belirgin şekilde artmış gelatinolitik aktivite gösterdiğini; ayrıca aktif MMP-2 formunun yalnızca inflame pulpalarda saptandığını ortaya koymuştur. Buna karşılık, pro-MMP-2 düzeyleri açısından sağlıklı ve inflame pulpa arasında anlamlı bir fark izlenmemiştir. ELISA sonuçları, inflame pulpalarda TIMP-2 düzeylerinin anlamlı derecede arttığını; MPO analizleri ise nötrofil yoğunluğunun inflamasyonla paralel olarak yükseldiğini göstermiştir. Araştırmacılar, MMP-9'un, nötrofil infiltrasyonu ve MPO aktivitesinin inflame pulpada doku yıkımının başlıca belirleyicilerinden biri olabileceğini vurgulamıştır.

Mente ve ark. (14), prospektif bir klinik çalışmada, asemptomatik, geri dönüşümlü ve geri dönüşümsüz pulpitisli dişlerden pulpa ekspozisyonu sonrası elde edilen kan örneklerinde MMP-9 ve TIMP-1 düzeyleri değerlendirilmiştir. MMP-9 düzeylerinin pulpitis şiddeti arttıkça anlamlı şekilde yükseldiği, en yüksek değerlerin ise geri dönüşümsüz pulpitisli ve NSAİİ kullanan hastalarda saptandığı bildirilmiştir. Mentel ve ark. çalışmaları literatürde o zamana kadar MMP analizi yapılan çalışmalardan metodolojik olarak farklılık göstermektedir. Yapılan çalışmalar pulpa dokusu temelli olmasına karşın, Mentel ve ark., pulpal dokunun kendisi yerine pulpal kan örneklerini

analiz etmiş ve MMP-9 düzeylerinin pulpitis şiddeti ile kademeli olarak arttığını klinik olarak göstermiştir.

Aguirre-López ve ark. (15), dentin sıvısındaki matriks metalloproteinaz-8 (MMP-8) düzeyleri ile soğuk test yanıtları arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Sağlıklı pulpa, reversibl pulpitis ve irreversibl pulpitis tanısı konmuş dişlerden elde edilen dentin örneklerinde MMP-8 düzeyleri ELISA yöntemiyle analiz edilmiş ve bu biyokimyasal bulgular, soğuk testteki yanıt süresi ile karşılaştırılmıştır. Bulgular, irreversibl pulpitis grubunda dentin MMP-8 düzeylerinin sağlıklı ve reversibl pulpitis gruplarına kıyasla anlamlı derecede yüksek olduğunu; ayrıca soğuk testte uyarı sonrası hissin kaybolma süresinin uzaması ile MMP-8 düzeyleri arasında güçlü bir pozitif korelasyon bulunduğunu göstermiştir. Araştırmacılar, tartışma bölümünde bu sonuçları, MMP-8'in pulpal inflamasyona eşlik eden kollajen yıkımı ve doku destrüksiyonu ile ilişkili bir belirteç olabileceği şeklinde yorumlamıştır. Ayrıca, dentin kaynaklı moleküler analizlerin subjektif hasta yanıtına dayanan duyarlılık testlerini tamamlayıcı nitelikte olabileceğini de belirtmiştir.

Wahlgren ve ark. (16), pulpal ve periapikal inflamasyonda matriks metalloproteinaz-8 (MMP-8) varlığını ve düzeylerini değerlendiren ilk kapsamlı çalışmalardan birini gerçekleştirmiştir. Çalışmada, nekrotik dişlerde kök kanal tedavisi sırasında farklı seanslarda elde edilen periapikal kök kanal eksüdası örneklerinde MMP-8 düzeyleri analiz edilmiştir. Ayrıca inflame pulpa dokuları ve periapikal granülomlardan elde edilen örneklerde MMP-8'in hücresel kaynakları immünohistokimyasal olarak incelenmiştir. Bulgular, hem inflame pulpa dokusunda hem de periapikal granülomlarda MMP-8'in belirgin biçimde bulunduğunu ve bu enzimin yalnızca polimorfonükleer lökositler değil, aynı zamanda makrofajlar ve plazma hücreleri tarafından da üretildiğini göstermiştir. Kök kanal tedavisi sürecinde periapikal eksüdadaki MMP-8 düzeylerinin anlamlı şekilde azalması, bu enzimin aktif inflamatuvar süreçle yakından ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Araştırmacılar, tartışma bölümünde bu bulguları MMP-8'in ekstrasellüler matriks yıkımına katılan temel proteazlardan biri olduğu ve periapikal inflamasyonun biyokimyasal aktivitesinin izlenmesinde potansiyel bir belirteç olarak kullanılabileceği şeklinde yorumlamışlardır.

Ahmed ve ark. (17), semptomatik ve asemptomatik apikal periodontitisli dişlerde matriks metalloproteinaz-9 (MMP-9) ekspresyonunu ve bunun gram-negatif bakteri varlığı ile ilişkisini değerlendirmiştir. Endodontik cerrahi sırasında elde edilen periapikal lezyon dokuları histolojik ve immünohistokimyasal olarak incelenmiş; MMP-9 pozitif alan yüzdesi ile gram-negatif bakterilerin sayısı nicel olarak analiz edilmiştir. Bulgular, semptomatik apikal periodontitis grubunda hem gram-negatif bakteri yoğunluğunun hem de MMP-9 ekspresyonunun asemptomatik olgulara kıyasla istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek olduğunu göstermiştir. Ayrıca, gram-negatif

bakteri sayısı ile MMP-9 ekspresyonu arasında güçlü bir pozitif korelasyon saptanmıştır. İmmünohistokimyasal değerlendirmelerde MMP-9'un epitel hücreleri, osteoklastlar, osteoblastlar, makrofaj benzeri hücreler, fibroblastlar ve endotelial hücrelerde yoğun olarak lokalize olduğu gösterilmiştir. Araştırmacılar, bu bulguları gram-negatif bakterilerin endotoksinler aracılığıyla MMP-9 ekspresyonunu uyarabileceği ve MMP-9'un semptomatik periapikal lezyonlarda doku yıkımı ile ağrıya eşlik eden inflamatuvar süreçlerde önemli bir rol oynayabileceği şeklinde yorumlamıştır.

Faustino ve ark. (18), primer endodontik enfeksiyon kaynaklı periapikal lezyonlarda matriks metalloproteinaz-2 (MMP-2) ve matriks metalloproteinaz-9 (MMP-9) immünoekspresyonunu; histopatolojik tanı, inflamatuvar infiltrat tipi ve ağrı varlığı ile ilişkili olarak değerlendirmiştir. Çalışmaya, çekim sırasında küretaj ile elde edilen toplam 51 periapikal lezyon dahil edilmiştir. Histopatolojik inceleme sonucunda örnekler periapikal granülom ve periapikal kist olarak sınıflandırılmış; inflamatuvar infiltrat ise kronik veya mikst olarak tanımlanmıştır. Klinik olarak hastalar semptomatik ve asemptomatik gruplara ayrılmıştır. İmmünohistokimyasal analizler sonucunda, tüm periapikal lezyonlarda hem MMP-2 hem de MMP-9 için yaygın pozitif boyanma saptanmış; pozitifliğin ağırlıklı olarak lökositlerin sitoplazmasında yoğunlaştığı gösterilmiştir. MMP-2 ekspresyonunun periapikal granülomlarda, periapikal kistlere kıyasla anlamlı derecede daha yüksek olduğu bildirilirken; MMP-9 ekspresyonu açısından iki lezyon tipi arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. Semptomatik olgularda hem MMP-2 hem de MMP-9 düzeylerinin daha yüksek olduğu gözlenmiş, ancak bu ilişkinin yalnızca MMP-2 için istatistiksel anlamlılığa ulaştığı rapor edilmiştir. Araştırmacılar, MMP-2 ve MMP-9'un periapikal lezyonların gelişimi ve ilerlemesinde önemli rol oynadığını; özellikle MMP-2'nin aktif ve semptomatik fazlarla daha yakından ilişkili olabileceğini ileri sürmüştür. Ayrıca, bu enzimlerin kemik rezorpsiyonu, ekstrasellüler matriks yıkımı ve ağrı patofizyolojisinde birlikte veya farklı evrelerde etkili olabileceği vurgulanmıştır.

Faustino ve ark.'nın periapikal lezyonlarda MMP-2 ve MMP-9 ekspresyonunu değerlendiren bulguları (18), endodontik inflamasyonda matriks metalloproteinazların doku yıkımı ve klinik aktivite ile ilişkisini ortaya koyan önceki çalışmalarla genel olarak uyum göstermektedir. Ahmed ve ark. (17), semptomatik apikal periodontitis olgularında MMP-9 ekspresyonunun gram-negatif bakteri yoğunluğu ve ağrı varlığı ile pozitif korelasyon gösterdiğini bildirerek, MMP-9'un özellikle aktif ve semptomatik inflamatuvar süreçlerde ön plana çıktığını vurgulamıştır. Buna karşılık Faustino ve ark., MMP-9 ekspresyonunun lezyon tipleri arasında belirgin farklılık göstermediğini; ancak MMP-2 düzeylerinin periapikal granülomlarda ve semptomatik olgularda daha yüksek olduğunu ortaya koyarak, MMP-2'nin inflamasyonun daha aktif ve klinik olarak belirgin evreleriyle daha yakından ilişkili olabileceğine

dikkat çekmiştir. Bu farklılıklar, MMP'lerin endodontik inflamasyonda tek tip bir biyolojik yanıt sergilemediğini; inflamasyonun evresi, lezyonun histopatolojik özellikleri ve semptom varlığına bağlı olarak farklı MMP'lerin ön plana çıkabileceğini düşündürmektedir. Dolayısıyla bu çalışmalar birlikte ele alındığında, MMP-2 ve MMP-9'un periapikal dokularda tamamlayıcı ancak farklı biyolojik rollere sahip olabileceği ve klinik tabloya katkılarının ayrı ayrı değerlendirilmesinin daha uygun olduğu anlaşılmaktadır.

Avellán ve ark. (19), pulpal kaynaklı ağrının periodontal çevre dokularda ölçülebilir biyokimyasal değişikliklere yol açıp açmadığını araştırdıkları çalışmalarında, deneysel olarak oluşturulan akut diş ağrısının dişeti oluğu sıvısındaki (DOS) inflamatuvar medyatörler üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Çalışmada, klinik ve radyografik olarak sağlıklı dişlerde pulpa dokusu, bireysel ağrı eşişinin üzerinde olacak şekilde sabit akımlı bir diş stimülatörü ile kontrollü elektriksel uyarı uygulanarak akut olarak uyarılmış; bu uyarımı takiben ilgili dişlere ait DOS örneklerinde substance P (SP) ve matriks metalloproteinaz-8 (MMP-8) düzeyleri analiz edilmiştir. Bulgular, periodontal dokularda herhangi bir inflamasyon bulgusu bulunmamasına rağmen, deneysel pulpal ağrıyı takiben DOS'ta hem SP hem de MMP-8 düzeylerinin anlamlı derecede arttığını göstermiştir. Araştırmacılar, bu artışı pulpal afferent sinir liflerinden salınan nöropeptidlerin oluşturduğu nörojenik inflamasyon mekanizması ile açıklamış; pulpadaki akut nosiseptif uyarının, akson refleksi yoluyla çevre periodontal dokularda vasküler ve hücrel yanıtları tetikleyebileceğini ileri sürmüştür. Bu bulgular, pulpal inflamasyonun yalnızca lokal bir doku yanıtı olmadığını, sinirsel aracılı mekanizmalar yoluyla çevre dokulara biyokimyasal olarak yansıyabildiğini ortaya koyarak, dişeti oluğu sıvısında saptanan MMP-8 artışının pulpal kaynaklı olabileceğini gösteren erken çalışmalardan biridir.

Shin ve ark. (20), ağrılı, nonvital dişlerde uygulanan kök kanal tedavisi süresince, dişeti oluğu sıvısındaki MMP-8 ve substance P (SP) düzeylerinin zaman içindeki değişimini değerlendirmiştir. Bu yönüyle çalışma, yalnızca tek bir zaman noktasındaki ölçümlerle sınırlı olan önceki pek çok çalışmadan ayrılmaktadır. Araştırmada, kök kanal tedavisi planlanan dişlerden ve bunların kontralateral sağlıklı dişlerinden üç farklı zaman noktasında (tedavi öncesi, ikinci seans öncesi ve obturasyon öncesi) DOS örnekleri alınmış; MMP-8 ve SP düzeyleri ELISA yöntemi ile nicel olarak analiz edilmiştir. Bulgular, ağrılı nonvital dişlerde DOS'taki MMP-8 ve SP düzeylerinin başlangıçta belirgin şekilde yüksek olduğunu, kök kanal tedavisinin ikinci ve üçüncü seanlarında ise bu düzeylerin anlamlı biçimde azaldığını ortaya koymuştur. Çalışmanın önemli bir diğer bulgusu, hastaların subjektif ağrı düzeyi (VAS skorları) ile DOS'taki MMP-8 ve SP düzeyleri arasında anlamlı pozitif korelasyon saptanmasıdır. Ayrıca MMP-8 ile SP düzeylerinin kendi aralarında da pozitif korelasyon göstermesi, nörojenik inflamasyon ile matriks yıkımı

süreçlerinin birbirine bağlı ilerlediğini düşündürmektedir.

Dinçer ve ark. (6), endodontik inflamasyonun yalnızca pulpa dokusu ile sınırlı kalmayıp periodontal çevre dokulara biyokimyasal olarak yansıyor yansımadığını değerlendirmek amacıyla, aynı dişten elde edilen pulpa dokusu ve dişeti oluğu sıvısı (DOS) örneklerinde nörojenik ve inflamatuvar medyatörlerin düzeylerini karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Çalışmaya, klinik olarak sağlıklı dişler ile semptomatik irreversibl pulpitis tanısı konmuş dişler dâhil edilmiş; neurokinin A (NKA), substance P (SP), interlökin-8 (IL-8) ve matriks metalloproteinaz-8 (MMP-8) düzeyleri hem pulpa dokusunda hem de DOS örneklerinde ELISA yöntemi ile nicel olarak analiz edilmiştir. Bulgular, pulpitis grubunda söz konusu tüm medyatörlerin pulpa dokusunda ve ilk seansta alınan DOS örneklerinde sağlıklı gruba kıyasla anlamlı derecede yüksek olduğunu; buna karşılık kök kanal tedavisini takiben bir hafta sonra alınan DOS örneklerinde bu düzeylerin belirgin biçimde azaldığını göstermiştir. Ayrıca NKA, SP ve IL-8'in pulpa dokusunda DOS'a kıyasla daha yüksek düzeylerde saptanmasına karşın, MMP-8 düzeylerinin pulpa ve DOS örnekleri arasında benzerlik göstermesi, bu enzimin periodontal çevre dokulara daha kolay yansıyabilen bir medyatör olabileceğini düşündürmüştür. Araştırmacılar, pulpa ve DOS örnekleri arasında birebir korelasyon saptanmamış olmasına rağmen, inflamasyon varlığında her iki dokuda da benzer yönlü artışların izlenmesini, pulpa kaynaklı inflamatuvar yanıtın nörojenik ve vasküler bağlantılar aracılığıyla periodontal dokulara yayılabileceğinin bir göstergesi olarak yorumlamıştır. Bu çalışma, endodontik inflamasyonun moleküler düzeyde değerlendirilmesinde DOS'un potansiyel bir tanısal biyolojik sıvı olabileceğini ortaya koyan kapsamlı ve bütüncül yaklaşımlardan biri olarak öne çıkmaktadır.

Azimi ve ark. (21), akut ve kronik apikal periodontitisli dişlerde dişeti oluğu sıvısındaki (DOS) matriks metalloproteinaz-9 (MMP-9) düzeylerini kök kanal tedavisi öncesi ve sonrası incelemiştir. Çalışmaya akut apikal periodontitisli 19 diş, kronik apikal periodontitisli 19 diş ve kontrol grubu olarak 18 sağlıklı diş dahil edilmiş; DOS örnekleri ELISA yöntemiyle analiz edilmiştir. Tedavi öncesinde MMP-9 düzeylerinin kronik apikal periodontitis grubunda sağlıklı dişlere kıyasla anlamlı derecede yüksek olduğu, akut apikal periodontitis grubunda ise sağlıklı dişlerle benzer seviyelerde seyrettiği bildirilmiştir. Kök kanal tedavisinden iki hafta sonra her iki hasta grubunda da MMP-9 düzeylerinde anlamlı bir azalma saptanmış ve tedavi sonrası değerlerin sağlıklı kontrol grubuna yaklaştığı gösterilmiştir. Araştırmacılar, bu bulguları akut inflamasyonda MMP-9 artışının henüz belirginleşmemiş olabileceği, buna karşın kronik apikal periodontitisin devam eden doku yıkımı ve ekstrasellüler matriks remodelingi ile ilişkili daha yüksek MMP-9 düzeyleriyle karakterize olduğu şeklinde yorumlamıştır. Çalışma, DOS'un pulpa ve periapikal inflamasyonun izlenmesinde pratik ve non-invaziv bir örnekleme

yöntemi sunduğunu ve MMP-9'un endodontik tedavi yanıtının değerlendirilmesinde potansiyel bir biyobelirteç olabileceğini ortaya koymaktadır

Rednam ve Sarathy (22), semptomatik irreversibl pulpitis tanısı konmuş molar dişlerde pulpal kandaki matriks metalloproteinaz-9 (MMP-9) ve matriks metalloproteinaz-2 (MMP-2) düzeylerinin yaşa bağlı değişimini değerlendirdikleri çalışmalarında, genç (18-40 yaş) ve ileri yaş (>60 yaş) bireyleri karşılaştırmıştır. Çalışmada, pulpa odasından elde edilen pulpal kan örneklerinde MMP-9 ve MMP-2 düzeyleri ELISA yöntemiyle analiz edilmiş; her iki enzim düzeyinin de genç bireylerde ileri yaş grubuna kıyasla anlamlı derecede yüksek olduğu gösterilmiştir. Bulgular, pulpal inflamasyona verilen moleküler yanıtın yaşla birlikte belirgin biçimde değiştiğini ve genç pulpada daha aktif bir inflamatuvar ve matriks yıkım yanıtının bulunduğunu ortaya koymuştur. Araştırmacılar, genç bireylerde pulpanın daha yüksek hücresellik, vaskülarite ve metabolik aktiviteye sahip olmasının MMP-9 ve MMP-2 ekspresyonunu artırabileceğini; ileri yaşta ise pulpanın fibrotik dönüşümü, azalmış hücresel yanıt ve vasküler regresyon nedeniyle inflamatuvar medyatör düzeylerinin daha düşük seyredebileceğini belirtmiştir. Bu çalışma, pulpal inflamasyonun değerlendirilmesinde biyobelirteç düzeylerinin hasta yaşı gibi biyolojik değişkenlerden bağımsız ele alınamayacağını vurgulayarak, moleküler temelli tanı ve tedavi yaklaşımlarında bireyselleştirilmiş değerlendirmelerin gerekliliğine dikkat çekmektedir.

Sonuç

Literatürde yer alan çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde, matriks metalloproteinazların endodontik inflamasyonun patogeneğinde ve doku yıkım süreçlerinde merkezi bir rol üstlendiği açıkça görülmektedir. Pulpal ve periapikal dokularda özellikle MMP-8 ve MMP-9'un inflamasyonun akut fazlarıyla yakından ilişkili olduğu, ağrı ve klinik semptomlar ile paralel artış gösterebildiği ortaya konmuştur. Buna karşılık MMP-2 gibi bazı MMP'lerin daha çok kronik ve semptomatik lezyonlarda veya belirli histopatolojik yapılarda ön plana çıkması, endodontik inflamasyonun moleküler düzeyde heterojen bir yanıt sergilediğini düşündürmektedir.

Başlangıçta MMP analizlerinin büyük ölçüde pulpa dokusu ve periapikal lezyon örnekleri ile sınırlı olduğu görülse de, dentinal sıvı, pulpal kan ve dişeti oluğu sıvısı gibi farklı biyolojik örneklerin kullanılmasıyla bu moleküllerin inflamasyonun biyolojik aktivitesini yansıtabileceği gösterilmiştir. Özellikle dişeti oluğu sıvısı temelli çalışmalar, pulpal ve periapikal inflamasyonun periodontal çevre dokulara sinirsel ve vasküler bağlantılar aracılığıyla biyokimyasal olarak yansıyabildiğini ortaya koyarak, endodontik inflamasyonun yalnızca lokal bir doku olayı olmadığını vurgulamaktadır.

Sonuç olarak, matriks metalloproteinazlar endodontik inflamasyonun biyolojik temelini anlamada önemli bilgiler sunmakta; farklı biyolojik örnek-

lerde yapılan analizler, bu moleküllerin tanı, prognoz ve tedavi takibindeki potansiyelini giderek güçlendirmektedir. Ancak, mevcut bulgular MMP'lerin tek başına kesin tanısal belirteçler olarak kullanılabilmesi için henüz yeterli değildir Klinik pratiğe güvenilir biçimde entegre edilebilmeleri için, standardize örnekleme protokolleri, daha geniş hasta grupları ve uzun dönemli prospektif çalışmalarla desteklenen ileri araştırmalara ihtiyaç olduğu açıktır.

Kaynaklar

1. Duncan, H. F., Kirkevang, L. L., Peters, O. A., El-Karim, I., Krastl, G., Del Fabbro, M., ... Kebschull, M. (2023). Treatment of pulpal and apical disease: The European Society of Endodontology (ESE) S3-level clinical practice guideline. *International Endodontic Journal*, 56, 238–295. doi:10.1111/iej.13820
2. Zanini, M., Meyer, E., & Simon, S. (2017). Pulp inflammation diagnosis from clinical to inflammatory mediators: A systematic review. *Journal of Endodontics*, 43(7), 1033–1051. doi:10.1016/j.joen.2017.02.009
3. Wong, J., Manoil, D., Näsman, P., Belibasakis, G. N., & Neelakantan, P. (2021). Microbiological aspects of root canal infections and disinfection strategies: An update review on the current knowledge and challenges. *Frontiers in Oral Health*, 2, 672887. doi:10.3389/froh.2021.672887
4. Chen, E., & Abbott, P. V. (2009). Dental pulp testing: A review. *International Journal of Dentistry*, 2009, 365785. doi:10.1155/2009/365785
5. Wahlgren, J., Salo, T., Teronen, O., Luoto, H., Sorsa, T., & Tjäderhane, L. (2002). Matrix metalloproteinase-8 (MMP-8) in pulpal and periapical inflammation and periapical root-canal exudates. *International Endodontic Journal*, 35(11), 897–904. doi:10.1046/j.1365-2591.2002.00587.x
6. Akbal Dincer, G., Erdemir, A., & Kisa, U. (2020). Comparison of neurokinin A, substance P, interleukin-8, and matrix metalloproteinase-8 changes in pulp tissue and gingival crevicular fluid samples of healthy and symptomatic irreversible pulpitis teeth. *Journal of Endodontics*, 46(10), 1428–1437. doi:10.1016/j.joen.2020.07.013
7. Jain, A., & Bahuguna, R. (2015). Role of matrix metalloproteinases in dental caries, pulp and periapical inflammation: An overview. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*, 5(3), 212–218. doi:10.1016/j.jobcr.2015.06.015
8. Hussein, H., & Kishen, A. (2022). Local immunomodulatory effects of intracanal medications in apical periodontitis. *Journal of Endodontics*, 48(4), 430–456. doi:10.1016/j.joen.2021.12.008
9. Gusman, H., Santana, R. B., & Zehnder, M. (2002). Matrix metalloproteinase levels and gelatinolytic activity in clinically healthy and inflamed human dental pulps. *European Journal of Oral Sciences*, 110(5), 353–357. doi:10.1034/j.1600-0722.2002.21347.x
10. Shin, S. J., Lee, J. I., Baek, S. H., & Lim, S. S. (2002). Tissue levels of matrix metalloproteinases in pulps and periapical lesions. *Journal of Endodontics*, 28(4), 313–315. doi:10.1097/00004770-200204000-00013
11. Zehnder, M., Wegehaupt, F. J., & Attin, T. (2011). A first study on the usefulness of matrix metalloproteinase-9 from dentinal fluid to indicate pulp inflammation. *Journal of Endodontics*, 37(1), 17–20. doi:10.1016/j.joen.2010.10.003
12. Tsai, C. H., Chen, Y. J., Huang, F. M., Su, Y. F., & Chang, Y. C. (2005). The upregulation of matrix metalloproteinase-9 in inflamed human dental pulps. *Journal of Endodontics*, 31(12), 860–862. doi:10.1097/01.don.0000164851.55389.4e

13. Accorsi-Mendonça, T., Silva, E. J., Marcaccini, A. M., Gerlach, R. F., Duarte, K. M., Pardo, A. P., ... Zaia, A. A. (2013). Evaluation of gelatinases, tissue inhibitor of matrix metalloproteinase-2, and myeloperoxidase protein in healthy and inflamed human dental pulp tissue. *Journal of Endodontics*, 39(7), 879–882. doi:10.1016/j.joen.2012.11.011
14. Mente, J., Petrovic, J., Gehrig, H., Rampf, S., Michel, A., Schürz, A., ... Erber, R. (2016). A prospective clinical pilot study on the level of matrix metalloproteinase-9 in dental pulpal blood as a marker for the state of inflammation in the pulp tissue. *Journal of Endodontics*, 42(2), 190–197. doi:10.1016/j.joen.2015.10.020
15. Aguirre-López, E. C., Patiño-Marín, N., Martínez-Castañón, G. A., Medina-Solís, C. E., Castillo-Silva, B. E., Cepeda-Argüelles, O., ... Rosales-García, P. (2020). Levels of matrix metalloproteinase-8 and cold test in reversible and irreversible pulpitis. *Medicine (Baltimore)*, 99(52), e23782. doi:10.1097/MD.00000000000023782
16. Ahmed, G. M., El-Baz, A. A., Hashem, A. A., & Shalaan, A. K. (2013). Expression levels of matrix metalloproteinase-9 and gram-negative bacteria in symptomatic and asymptomatic periapical lesions. *Journal of Endodontics*, 39(4), 444–448. doi:10.1016/j.joen.2012.11.009
17. Pereira Faustino, I. S., Azevedo, R. S., & Takahama, A. Jr. (2016). Metalloproteinases 2 and 9 immunoexpression in periapical lesions from primary endodontic infection: Possible relationship with the histopathological diagnosis and the presence of pain. *Journal of Endodontics*, 42(4), 547–551. doi:10.1016/j.joen.2015.12.020
18. Avellán, N. L., Sorsa, T., Tervahartiala, T., Forster, C., & Kempainen, P. (2008). Experimental tooth pain elevates substance P and matrix metalloproteinase-8 levels in human gingival crevice fluid. *Acta Odontologica Scandinavica*, 66(1), 18–22. doi:10.1080/00016350701810658
19. Shin, S. J., Lee, W., Lee, J. I., Baek, S. H., Kum, K. Y., Shon, W. J., & Bae, K. S. (2011). Matrix metalloproteinase-8 and substance P levels in gingival crevicular fluid during endodontic treatment of painful, nonvital teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 112(4), 548–554. doi:10.1016/j.tripleo.2011.04.026
20. Azimi, N., Khanmohammadi, M. M., Mesbahian, S., Khatibzadeh, M., Vatanpour, M., & Moshari, A. (2024). Matrix metalloproteinase 9 level changes in gingival crevicular fluid samples of teeth with acute and chronic apical periodontitis. *Dental Research Journal*, 21, 52.
21. Rednam, P., & Sarathy, S. (2025). Evaluation of the role of age in MMP-9 and MMP-2 levels in pulpal blood of teeth with symptomatic irreversible pulpitis. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*, 15(6), 1624–1627. doi:10.1016/j.jobcr.2025.09.022