



**ENDODONTİ ALANINDA BİLİMSEL
ARAŞTIRMALAR**

Editör: Doç. Dr. Mehmet ESKİBAĞLAR

yaz
yayınları

Endodonti Alanında Bilimsel Araştırmalar

Editör

Doç. Dr. Mehmet ESKİBAĞLAR

yaz
yayınları

2026

**Endodonti Alanında Bilimsel
Araştırmalar**

Editör: Doç. Dr. Mehmet ESKİBAĞLAR

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayınlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-8574-84-5

Mart 2026 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar/AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

İÇİNDEKİLER

Endodontide N-Asetil Sistein Kullanımı	1
<i>Dilara ÜNSAL GÜL, Sevda DÜRÜST BARIŞ</i>	
Kök Kanal Dentinine Bağlantı Yöntemleri.....	23
<i>Büşra KÜLTÜR, Mehmet ESKİBAĞLAR</i>	
Patolojik Kök Rezorpsiyonları.....	48
<i>Efe Ulaş YENİOĞLU, Cemre KOÇ</i>	

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."

ENDODONTİDE N-ASETİL SİSTEİN KULLANIMI

Dilara ÜNSAL GÜL¹

Sevda DÜRÜST BARIŞ²

1. GİRİŞ

N-asetil sistein (NAS), 1960 yılında patenti alınmış ve tıpta ilk kullanımı 1967 yılında rapor edilmiş, sülfidril içeren bir bileşiktir. 1969'dan beri kistik fibroziste, 1970'lerden beri asetominofen zehirlenmesinin tedavisi için ve 1980'lerden beri oksidatif stres ile ilişkili hastalıkların tedavisi için kullanılmaktadır (Aldini vd., 2018). Ayrıca kronik obstrüktif akciğer hastalığı, kronik bronşit, doksorubisin kaynaklı kardiyotoksisite, insan immün yetmezlik virüsü enfeksiyonu, psikiyatrik/nörolojik hastalıklar ve ağır metal toksisitesi gibi çeşitli patolojiler üzerinde terapötik etkilere sahiptir (Pei vd., 2018).

NAS, sistein aminoasitinin N-asetil türevi olan bir bileşiktir. Metal iyonlarını bağlamaya yardımcı olan sistein ön ilacı ve glutatyon (GSH) öncüsüdür (Atkuri vd., 2007; Zafarullah vd., 2003). Hücrelerde sülfidril grubu kaynağıdır ve OH⁻ ve H₂O₂ gibi serbest oksijen radikalleri ile etkileşime girdiği için serbest radikallerin temizleyicisidir (Zafarullah vd., 2003). NAS'ın özellikleri arasında; GSH S-transferaz aktivitesinin artırılması, GSH'nin yenilenmesi, serbest radikallerin temizlenmesi ve

¹ Diş hekimi, Kırıkkale Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, ORCID: 0009-0006-3706-2805.

² Dr. Öğr. Üyesi, Kırıkkale Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, ORCID: 0000-0003-3779-1849.

antioksidan, antiinflamatuvar ve mukolitik özellikleriyle birlikte sistein disülfid moleküllerini çapraz bağlayarak protein yapılarını stabilize etmesi yer almaktadır (Schwalfenberg, 2021). NAS, bu özelliklerinden dolayı tıp alanında çeşitli terapötik amaçlarla kullanılmıştır. Son yıllarda diş hekimliğinde de oral patolojik süreçlerin yönetiminde kullanılmaya aday bir ajan olarak öne çıkmaktadır.

2. NAS'ın KİMYASI

NAS, kapalı formülü $C_5H_9NO_3S$ olan, sülfidril fonksiyonel grubu ($-SH$) ve amino grubuna (NH_2) bağlı bir asetil grubu ($-COCH_3$) tarafından oluşturulan bir bileşiktir. Bu kimyasal yapısı, antioksidan etki ve mukolitik etki ile ilgili metabolik aktivitelerinden sorumludur (Radomska-Leśniewska vd., 2012). Yapısındaki serbest tiyol (sülfidril) grubu, protein yapıdaki bileşiklerin disülfid bağlarını kırarak mukusun viskozitesini azaltır. Aynı zamanda serbest tiyol yan zinciri aracılığıyla, serbest radikallerin elektrofilik grupları ile etkileşime girerek, doğrudan antioksidan etkinlik gösterir (Tse vd., 2014).

3. NAS'ın BİYOLOJİK AKTİVİTESİ

NAS'ın; mitokondriyal fonksiyonlar, bağışıklık modülasyonu, hücre iskeleti organizasyonu, gen ekspresyonu ve sinyal iletimi, karsinogenez ve tümör progresyonu ile hücre döngüsü ve hücre ölümünün (apoptozun) düzenlenmesi dahil olmak üzere çok sayıda biyokimyasal süreçle etkileşime girdiği gösterilmiştir (Samuni vd.,2013; Zafarullah vd., 2003). Ancak NAS'ın *in vivo* ortamdaki temel işlevi, GSH sentezi ve yenilenmesi için gerekli olan sisteini sağlamaktır (Atkuri vd., 2007). Bu nedenle, fizyolojik fonksiyonlarının ve terapötik etkilerinin büyük ölçüde hücre içi GSH seviyelerinin korunması

ile ilişkili olduğu kabul edilebilir. Bu nedenle NAS'ın doğrudan etkisini GSH ile ilgili olanlardan ayırt etmek genellikle zordur (Samuni vd., 2013).

NAS apraz bağlı mukus proteinlerindeki disulfid bağlarını azaltabilir ve yapılarını değiştirebilir, boylce mukusun viskozitesini azaltabilir (Tenrio vd., 2021). Ayrıca pro-enflamatuar gen ekspresyonunun düzenlenmesinden sorumlu nükleer faktör kappa-b'nin (NF-κB) translokasyonunu ve nükleer aktivasyonunu bloke etme yoluyla, lipopolisakkarit (LPS) ile aktive edilmiş makrofajlarda; tümör nekroz faktör (TNF), interlökin-1 (IL-1) ve IL-6 gibi enflamatuar sitokinlerin salınımını baskıladığı gösterilmiştir (Palacio vd., 2011).

DeneySEL alışmalar diğer tiyoller gibi, NAS'ın serbest tiyol grubu aracılığıyla civa, kurşun gibi ağır metallere bağlanabildiğini ve vücut tarafından kolayca atılan kompleksler oluşturarak toksisite durumlarında metal iyonlarının seviyelerini azaltabildiğini göstermektedir (Samuni vd., 2013).

3.1. Antioksidan Etkinlik

Oksidatif stres, hücreSEL metabolizma faaliyetleri sırasında oluşan reaktif oksijen türleri (ROT) gibi oksidan maddeler ile onları detoksifiye eden antioksidanların arasındaki dengenin, oksidanlar lehine bozulması olarak tanımlanmaktadır. Oksidatif stresteki artış, hücre içi protein, lipit, DNA gibi moleküllerin zarar görmesi sonucu, hücre hasarı veya ölümüyle sonuçlanabilir. Bu süreç, ağız hastalıkları da dahil olmak üzere çok sayıda patolojik duruma yol açar (Kesarwala vd., 2016). Doğal veya sentetik antioksidanlar, oksidatif stresin kümülatif etkilerini azaltmada etkilidir. NAS da bu özelliğe sahiptir ve serbest tiyol yan zinciri aracılığıyla serbest radikallerin elektrofilik grupları ile doğrudan etkileşime giren bir antioksidandır. NAS, doğrudan etki gösteren bir antioksidan olmasının yanı sıra, dolaylı bir antioksidan olarak da işlev görür.

Dolaylı antioksidan etkisi, vücudun çok yönlü hücresel fonksiyonlara sahip ana antioksidanı olan GSH'ın, hücre içinde yenilenmesine dayanır. NAS ve GSH, serbest radikalleri doğrudan temizleyebilmesine rağmen, ROT ile reaksiyonlarının hız sabitleri, süperoksit dismutaz (SOD), katalaz ve glutatyon peroksidaz gibi antioksidan enzimlerin hız sabitlerinden birkaç kat daha düşüktür. Bu nedenle, NAS'ın doğrudan serbest radikal temizleme aktivitesinin, *in vivo* antioksidan aktivitesi için önemli bir etkisi olmadığı bildirilmiştir (Atkuri vd., 2007). Dolayısıyla NAS'ın bir antioksidan olarak birincil rolü GSH'ın hücre içi konsantrasyonunu artırma yeteneğinden kaynaklanmaktadır (Tenório vd., 2021).

3.2 Antienflamatuar Etkinlik

NAS'ı etkili yapan bir diğer özellik, enflamatuar doku ile ilişkilendirilmiş çeşitli pro-enflamatuar sitokinlerin salınımını inhibe ederek anti-enflamatuar aktivite göstermesidir. Bunu pro-enflamatuar gen ekspresyonunun düzenlenmesinden sorumlu olan transkripsiyon faktörü NF- κ B'nin nükleer translokasyonunu ve aktivasyonunu bloke ederek yapar (Sadowska vd., 2007). Biswas ve De Faria (2007), oksidatif stresin, enflamasyondan önce meydana gelen ilk değişiklik olduğunu bildirmişlerdir. NAS'ın antienflamatuar etkileri, antioksidan aktiviteleriyle de arttırılır. Bu nedenle, NAS'ın güçlü antioksidan özellikleri, onu potansiyel bir anti-enflamatuar ajan haline getirmektedir (Abdulrab vd., 2022).

3.3 Antimikrobiyal Etkinlik

NAS, antibiyotik olmamasına rağmen, antimikrobiyal özelliklere sahip bir bileşiktir. NAS'ın, antibakteriyel etkilerini hücre dışı polisakkarit matriks üretimini engelleyerek, bakteri adezyonunu ve biyofilm oluşumunu azaltarak gösterdiği düşünülmektedir. Ancak NAS'ın antibakteriyel aktivitesinin

karmaşık ve çok farklı etkenleri içeren bir mekanizmaya sahip olduğu düşünülmektedir (Pollini vd., 2018).

4. DİŞ HEKİMLİĞİNDE NAS

Ağız boŐluėu, oksidatif stres oluŐumuna yol açabilen, enflamasyonu tetikleyebilen ve hatta kansere zemin hazırlayabilen çeşitli çevresel faktörlere maruz kalmaktadır. NAS'ın biyolojik ve farmakolojik etkileri ve hastalığın ilerlemesini nleme yeteneği, onu ağız ve diş patolojilerine müdahale için güçlü bir terapötik ajan haline getirmektedir (Pei vd., 2018).

Reçine monomerleri ve diğer bileşenler, polimerizasyondan sonra kompozit materyallerinden salınmaya devam eder. Hidrofilik ve hidrofobik çözücülerde trietilen glikol dimetakrilat (TEGDMA) ve 2-hidroksietil metakrilat (HEMA) gibi artık monomerler tespit edilmiŐtir (Michelsen vd., 2003). Bu reçine monomerleri, sitotoksik olarak tanımlanmıŐtır. Askorbik asit ve NAS'ın TEGDMA ve HEMA'nın neden olduğu sitotoksisiteyi azaltabildiği gösterilmiştir (Schweickl vd., 2007; Walther vd., 2004). Bu nedenle NAS, reçine monomer sitotoksisite çalıŐmalarında antioksidan olarak kullanılmıŐ ve dentin bağlayıcı ajanların sitotoksisiteleri ve antidiferansiasyonu üzerindeki etkileri araŐtırılmıŐtır. Bir çalışmada polimetil metakrilat (PMMA) reçinesinin içeriğine, ağırlıkça %0.15 NAS eklenmesinin; mekanik özellikleri üzerinde önemli bir olumsuz etki göstermeden, PMMA reçinesinin biyoyumluluğunu büyük ölçüde iyileŐtirdiėi bildirilmiştir (Jiao vd., 2015).

NAS'ın osteoblastik hücrelerin (*in vitro* olarak) farklılaşmasını arttırdığı ve sıçan femur defektlerine implante edilen kolajen süngere eklendiğinde kemik iyileşmesini hızlandırdığı gösterilmiştir (Jun vd., 2008; Yamada vd., 2013). Bu veriler, NAS'ın kemik rejenerasyon tedavilerinde osteojenik

güçlendirici olarak klinik uygulama potansiyelini vurgulamaktadır. Ayrıca NAS'ın oral yoldan verilmesi, sıçanlarda deneysel periodontitis modelinde doza bağlı bir şekilde alveolar kemik kaybını azaltmıştır (Toker vd., 2009). Rat mandibularına bir ilaç taşıma sistemi olarak NAS yüklü nanotüp titanyum (NLN-Ti) implantlar uygulanarak yapılan bir çalışmada, NLN-Ti implant uygulanmasını takiben yeni oluşan kemik hacminde ve mineral yoğunluğunda artış olduğu ve osseointegrasyonun artırdığı bildirilmiştir (Lee vd., 2013).

Oral liken planus olan hastalarda normale göre tükürükte, önemli ölçüde daha yüksek ROT, nitrik oksit (NO) ve nitrit seviyeleri ve lipid peroksidasyonu mevcuttur. Bu durum NAS gibi antioksidanların bu hastalığın yönetiminde terapötik potansiyele sahip olabileceğini düşündürmektedir. (Batu vd., 2016).

5. ENDODONTİDE NAS

Endodontik tedavinin öncelikli amaçlarından biri, kök kanal sisteminden vital ve nekrotik doku artıklarını, mikroorganizmaları ve oluşturdıkları biyofilmleri uzaklaştırarak kök kanallarını dezenfekte etmek ve periapikal bölgede enflamasyon oluşumunu engellemek veya oluşmuş enflamasyonun iyileşmesini sağlamaktır. Bu amaçla kök kanallarında biyomekanik preparasyon yapılır. Ancak yalnızca mekanik yöntemlerin kullanılmasıyla kök kanallarında tam bir dezenfeksiyon sağlamak mümkün değildir. Bu nedenle endodontik tedavi sırasında irrigasyon solüsyonlarından ve kanal içi ilaçlardan faydalanılmaktadır.

Sodyum hipoklorit (NaOCl), antibakteriyel kapasitesi ve nekrotik dokuyu, vital pulpa dokusunu, dentin ve biyofilmlerin organik bileşenlerini hızlı bir şekilde çözme yeteneği nedeniyle en yaygın kullanılan irrigasyon solüsyonudur. Klorheksidin

(CHX), antimikrobiyal etkinliği ve hidroksiapatite bağlanabilme gibi özellikleri, kalsiyum hidroksit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ise antiseptik ve anti-enflamatuar özelliklere sahip olması nedeni ile kanal içi ilaç ve irrigasyon ajanı olarak kullanılmaktadır. Ancak CHX, substantivite sergilemesine rağmen, dentin tarafından inaktive edilir ve derin biyofilm tabakasına nüfuz etme konusunda sınırlı bir yeteneğe sahiptir (Portenier vd., 2002). $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'in ise dentin yüzeyinden uzaklaştırılması zordur. Bu nedenle rezin esaslı endodontik patların dentine bağlanma kapasitesini azaltır (Barbizam vd., 2008). Ayrıca $\text{Ca}(\text{OH})_2$ *Enterococcus Faecalis* (*E. Faecalis*) ve *Candida Albicans*'a karşı daha az etkilidir (Mohammadi vd., 2011).

İdeal bir kanal medikamenti ve irrigasyon solüsyonu, iyi antimikrobiyal ve anti-enflamatuar aktivitelere, uygun fiziksel özelliklere sahip olmalı, biyoyumlu olmalı ve aktif olarak enflamasyonun üzülmesini sağlayan mediatörlerin endojen üretimini uyarabilmelidir. Endodonti alanında başarıyı artırmak için bahsedilen özelliklere sahip ideal ajan arayışı devam etmektedir. Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar, NAS'ın uygun antimikrobiyal ve anti-enflamatuar özelliklere sahip olması nedeniyle, irrigasyon solüsyonu ve medikament olarak alternatif bir ajan olabileceğini göstermiştir (Abdulrab vd., 2022).

Yapılan alışmalarda NAS'ın, endodontik enfeksiyonlarda sıklıkla bulunan *Provetella intermedia* (Moon vd., 2015) ve *E. Faecalis* (Quah vd., 2012) gibi oral patojenlere karşı antibakteriyel etkileri olduğu gösterilmiştir. NAS'ın antibakteriyel aktivitesinin bakterilerde sistein kullanımının inhibisyonu veya tiyol grubunun ($-\text{SH}$) bakteriyel hücre proteinleri ile reaksiyona girerek temel proteinlerde geri dönüşümsüz hasara neden olması ile gerçekleştiği bildirilmiştir (Marchese vd., 2003; Olofsson vd., 2003). Ayrıca bakteri suşlarına bağlı olarak, ekstraselüler polisakkarit üretimini düşürerek yüzeylere bakteri adezyonunu azaltır ve olgun

biyofilmleri elimine eder (Marchese vd., 2003; Silveira vd., 2013).

Martinho vd.'nin (2023) primer endodontik enfeksiyonlu apikal periodontitisli dişe sahip 36 hasta ile yaptığı randomize klinik çalışmada NAS, Ca(OH)₂ ve CHX'in 40 bakteri türü üzerindeki antimikrobiyal etkinliği incelenmiştir. Kanal içi medikament uygulamasından 14 gün sonra alınan örneklere Ca(OH)₂+%2 CHX jel ve NAS'in, Ca(OH)₂+salin'den daha iyi antimikrobiyal etki gösterdiği sonucu bildirilmiştir. Yapılan diğer bir çalışmada da 4 bakteri türü (*Actinomyces naeslundii*, *Lactobacillus salivarius*, *Streptococcus mutans* (*S. Mutans*) ve *E. Faecalis*) içeren olgun biyofilmlere NAS'ın 25, 50, 100 mg/ml olmak üzere farklı konsantrasyonlarının etkinliği Ca(OH)₂ ve %2 CHX ile karşılaştırılarak *in vitro* olarak incelenmiştir. NAS'ın biyofilmlerin uzaklaştırılmasında ve bakterilerin öldürülmesinde diğer kök kanal ilaçlarından daha fazla etkinlik gösterdiği, ayrıca 100 mg/ml konsantrasyonda NAS'ın, olgun endodontik biyofilmleri tamamen uzaklaştırdığı bildirilmiştir (Choi vd., 2018). Farklı irrigasyon solüsyonlarının *E. faecalis* ve *S. Mutans* 'a karşı antimikrobiyal etkinliğini değerlendirmek amacıyla yapılan bir çalışmada 200 mg/ml NAS, %5.25 NaOCl ve %2 CHX solüsyonlarının etkinliği karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada da NAS'ın *E. faecalis* ve *S. Mutans*'a karşı diğer gruplardan daha etkili olduğu bildirilmiştir (Sarin vd., 2019).

NAS'ın *E. faecalis* biyofilmlerini etkili şekilde ortadan kaldırdığını bildiren bir çalışmada dentin tozunun NAS'ın antibakteriyel aktivitesini nötralize etme yeteneği de incelenmiştir. Dentin tozuyla n inkübasyonun NAS'ın, Ca(OH)₂'in aksine; *E. faecalis* üzerindeki etkinliğini önemli lde azaltmadığı belirtilmiştir (Quah vd., 2012). Benzer şekilde Ulusoy vd.'nin (2016) yaptıkları çalışmada NAS, taurolidin ve Ca(OH)₂'in *E. faecalis* biyofilmi üzerindeki etkinliği

değerlendirilmiş ve dentin varlığından etkilenmedikleri bildirilmiştir.

Yapılan bir çalışmada CHX ve NAS'ın ayrı ayrı ve birlikte *E. Faecalis* biyofilmleri ile enfekte örneklerdeki antimikrobiyal etkinlikleri incelenmiştir. NAS, %2 CHX ile hemen hemen aynı antimikrobiyal özelliğe sahipken, kombinasyonları sinerjistik bir etki göstermiştir (Palaniswamy vd., 2016). *E. Faecalis* biyofilmi ile enfekte olmuş kök kanallarının dentin tübüllerinden bakterilerin uzaklaştırılmasında NAS, fotodinamik terapi (PDT) ve NAS'a ek olarak PDT'nin *in vitro* etkinliğini değerlendirmeyi amaçlayan bir çalışmada NAS, PDT uygulamasından bağımsız olarak *E. Faecalis* biyofilmlerine karşı bakterisidal etki göstermiş ve Ca(OH)_2 'e benzer antimikrobiyal aktivite sergilemiştir (Hasna vd., 2020).

Bazı araştırma grupları, artırılmış veya geniş spektrumlu antimikrobiyal uygulamalar elde etmek için bazı bileşenleri NAS ile birleştirmiştir. Bu ek bileşenler alexidin (Silveira vd., 2013), CHX (Palaniswamy vd., 2016), diklofenak sodyum (DS) (Adl vd., 2022) taurolidin (Ulusoy vd., 2016) ve çeşitli antibiyotikleri (Moon vd., 2015) içermektedir. Kontamine dentin bloklarında NAS, DS ve Ca(OH)_2 ile dentin tübül dezenfeksiyonu 100 μm ve 200 μm derinliklerde incelenmiş ve her iki derinlikte de, saf DS maksimum antibakteriyel aktivite göstermiştir. Ayrıca Ca(OH)_2 'i DS ve NAS ile karıştırmanın, etkinliği artırmadığı belirtilmiştir (Adl vd., 2022).

Bir çalışmada kanal içi ilaç olarak kullanılan ambroksol hidroklorür (AMB), NAS ve Ca(OH)_2 patlarının çözünürlüğü, pH'ları, antimikrobiyal etkileri ve sitotoksiteleri değerlendirilmiştir. Tüm alışma grupları için çözünürlük değerlerinin anlamlı olarak farklı olduğu, burada en yüksek değerlerin NAS, ardından AMB ve ardından Ca(OH)_2 olduğu bildirilmiştir. AMB'nin antimikrobiyal etkisinin

Ca(OH)₂'inkinden önemli ölçüde daha yüksek olduğu ve NAS'inkinin de anlamlı olmasa da Ca(OH)₂'inkinden daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Calefi vd., 2022).

NAS'ın bir başka potansiyel terapötik uygulaması, anti-enflamatuar aktivitesinden kaynaklanmaktadır. NAS, transkripsiyon faktörü NF-κB ilişkili genlerin ekspresyonunu düzenleyerek, enflamasyonun ve immün yanıtın birçok basamağında kritik rol oynamaktadır. Oral enflamasyonda NAS, makrofajlarda ve gingival fibroblastlarda IL-1β, IL-6 ve IL-8, TNF-α ve TGF-β gibi LPS kaynaklı proenflamatuar sitokinlerin ekspresyonunu önler (Karapinar vd., 2016; Kim vd., 2007).

NAS'ın anti-enflamatuar etkinliğini değerlendiren iki çalışmada altın standart kanal medikamenti olan Ca(OH)₂ ile karşılaştırma yapılmıştır (Corazza vd., 2021; Karapinar vd., 2016). Corazza vd. (2021), Ca(OH)₂ ile kanal içi ilaç tedavisinin apikal periodontitiste resolvin düzeylerini artıramadığını, NAS kanal içi ilaç uygulamasının ise 14 günlük tedaviden sonra resolvin düzeylerini önemli ölçüde artırdığını bildirmiştir. Diğer çalışmada ise NAS ve Ca(OH)₂'in, LPS ile uyarılan insan makrofaj hücrelerinde pro-enflamatuar ve anti-enflamatuar etkileri TNF-α ve TGF-β1, protein ve mRNA seviyeleri belirlenerek değerlendirilmiş ve NAS'ın Ca(OH)₂'e benzer anti-enflamatuar özelliklere sahip olduğu ve Ca(OH)₂'e alternatif bir terapötik ajan olabileceği bildirilmiştir (Karapinar vd., 2016).

Profilaktik ibuprofen ve NAS kullanımının kronik periapikal lezyonlarda TNF-α, IL-6, IL-17 seviyeleri üzerindeki rolünü ve tedavi sonrası ağrıyı değerlendirmeyi amaçlayan bir çalışmada, NAS'ın postendodontik ağrının tedavisinde ibuprofenin yerini alabileceği belirtilmiştir (Ehsani vd., 2012).

5.1. Rejeneratif Endodontide NAS

Rejeneratif endodonti, enfeksiyon, travma veya gelişimsel anomaliler nedeniyle hasar görmüş pulpa dokusunu yenilemek

için kanal boşluğunda; kök hücreler, biyomimetik yapı iskelesi ve biyoaktif büyüme faktörlerinden oluşan doku mühendisliğinin l kavramını içermektedir (Nakashima vd., 2005).

Başarılı bir rejenerasyon protokolü kök kanalının etkili dezenfeksiyonunu gerektirir. Bu sebeple rejeneratif endodontik tedavi uygulamaları, dezenfeksiyon ve rejenerasyon adımları olmak üzere iki ana klinik adımı içerir. Pulpa nekrozunun ana nedenlerinden birinin bakteriyel enfeksiyon olduğu göz önüne alındığında, hastalığın ilerlemesi patolojik enflamatuar reaksiyonların aktivasyonuna yol açar (Dioguardi vd., 2019). Bu nedenle, diş apeksindeki kök hücreleri hasara uğratan bu durumların kontrol edilmesi esastır. Enflamatuar sürecin ilerlemesi sırasında, hücre içi ROT miktarında artış görülür, bu da mitokondriyal dinamiklerde değişikliklerle sonuçlanır ve kontrol edilmezse hücre apoptozuna yol açar. Bu nedenle, mitokondriyal dinamiklerin kontrolü, hücrelerin iltihaplanma durumunda hayatta kalmasına izin verecektir (Kato vd., 2017). ROT'ların patolojik seviyeleri, hücre proliferasyonunu ve farklılaşmasını inhibe eder ve apoptozu uyarır. Bu nedenle hücreler enflamasyonla karşılaştıktan sonra durumun kontrol altına alınmasında fayda vardır. NAS, hücre apoptozunu inhibe ederek, hücre çoğalmasını ve farklılaşmasını düzenleyerek ve hücre içi ROT sentezini kontrol ederek dental materyallerin sitotoksik etkilerini azaltmaya yardımcı olur (Jiao vd., 2015, 2016). Birkaç alışma, oksidatif stres koşulları altında diş hücrelerinde NAS'ın anti-enflamatuar etkisi olduğunu bildirmiştir (Kim vd., 2007; Zheng vd., 2019). Ayrıca NAS, biyofilm hücrelerinin uzaklaştırılmasında ve öldürülmesinde, doymuş Ca(OH)₂ zeltisi ve %2 CHX zeltisinden daha fazla etkinlik göstermiştir (Choi vd., 2018). Kök kanalı irrigasyon solüsyonu olarak kullanılan NAS'ın, %5.25 NaOCl ve %2 CHX ile karşılaştırıldığında *E.faecalis* ve *S. mutans*'ı daha fazla inhibe ettiği rapor edilmiştir (Sarin vd., 2019). Bu nedenle, NAS'ın

rejeneratif endodontik işlemlere uyarlanması, enfeksiyonu kontrol edebildiği ve mitokondri fonksiyonunu iyileştirebildiği ve aynı zamanda bakteriyel kontaminasyonu azalttığı için fayda sağlayacaktır (Jariyamana vd., 2021).

Yakın tarihli bir çalışma, enflamatuar şartlar altında NAS takviyesinin apikal papilla kök hücreleri üzerindeki etkisini; hücre sağkalımı, proenflamatuar sitokin üretimini düzenleyen genler ve mitokondriyal dinamikler açısından incelemiştir. LPS'nin neden olduğu enflamasyon durumunda, NAS'ın kök hücrelerin sağkalımını artırdığı ve enflamasyonu azalttığı bildirilmiştir. Ayrıca on dakika NAS uygulamasının, enflamasyon seviyesini azaltmak ve mitokondriyal dinamikleri sürdürmek için yeterli olduğu sonucuna varılmıştır (Jariyamana vd., 2021).

Yine yakın zamanda yapılan bir araştırma NAS ile ve NAS olmaksızın SCAPs'ın bağışıklık sistemi ile etkileşimlerini değerlendirmiştir. Bu çalışmaya göre NAS ile ön işleme tabi tutulan SCAPs, önemli ölçüde daha düşük immün hücre aracılı sitotoksositeye neden olmuştur. ELISA analizi sonuçları, NAS ile ön işleme tabi tutulan SCAPs'ın, daha düşük seviyelerde proenflamatuar sitokinlerin salınımını uyardığını göstermiştir. Bu alışmada, NAS ile ön işleme tabi tutulan SCAPs'ın aktive edilmiş bağışıklık sisteminde hayatta kalma şansının daha yüksek olduğu belirtilmiş ve bu bilginin rejeneratif endodontik işlemleri daha öngörülebilir hale getirmenin anahtarı olabileceği vurgulanmıştır (Limansubroto vd., 2022).

6. SONUÇ

Endodonti alanında NAS'ın antimikrobiyal ve anti-enflamatuar etkinliğini inceleyen pek çok çalışma yapılmıştır. Mevcut çalışmaların değerlendirilmesi, NAS'ın kök kanal irrigasyon solüsyonu ve intrakanal medikament olarak kullanım

açısından uygun özellikler taşıdığını ve Ca(OH)₂, CHX ve NaOCl gibi yaygın kullanılan ajanlara potansiyel bir alternatif olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, mevcut bulgular yeterli klinik kanıt düzeyine sahip değildir ve NAS'ın biyouyumluluğunu değerlendirmek açısından sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle klinik kullanımının güvenilir şekilde değerlendirilebilmesi için daha fazla ve ileri klinik çalışmaya ihtiyaç vardır.

KAYNAKÇA

- Abdulrab, S., Mostafa, N., Al-Maweri, S. A., Abada, H., Halboub, E., & Alhadainy, H. A. (2022). Antibacterial and antiinflammatory efficacy of N-acetyl cysteine in endodontic treatment: a scoping review. *BMC Oral Health*, 22(1), 398. doi:10.1186/s12903-022-02434z
- Adl, A., Motamedifar, M., Malekzadeh, P., & Sedigh-Shams, M. (2022). Disinfection of dentinal tubules with diclofenac sodium and N-Acetylcysteine compared with calcium hydroxide as intracanal medicaments against *Enterococcus faecalis*. *Australian Endodontic Journal*, 48(3), 386-391. doi:10.1111/aej.12575
- Aldini, G., Altomare, A., Baron, G., Vistoli, G., Carini, M., Borsani, L., & Sergio, F. (2018). N-Acetylcysteine as an antioxidant and disulphide breaking agent: the reasons why. *Free radical research*, 52(7), 751-762. doi:10.1080/10715762.2018.1468564
- Atkuri, K. R., Mantovani, J. J., Herzenberg, L. A., & Herzenberg, L. A. (2007). N-Acetylcysteine—a safe antidote for cysteine/glutathione deficiency. *Current opinion in pharmacology*, 7(4), 355-359. doi:10.1016/j.coph.2007.04.005
- Barbizam, J. V. B., Trope, M., Teixeira, É. C., Tanomaru-Filho, M., & Teixeira, F. B. (2008). Effect of calcium hydroxide intracanal dressing on the bond strength of a resin-based endodontic sealer. *Brazilian dental journal*, 19(3), 224-227. doi:10.1590/S0103-64402008000300009
- Batu, Ş., Ofluoğlu, D., Ergun, S., Warnakulasuriya, S., Uslu, E., Güven, Y., & Tanyeri, H. (2016). Evaluation of prolidase activity and oxidative stress in patients with oral lichen planus and oral lichenoid contact reactions. *Journal of*

oral pathology & medicine, 45(4), 281-288. doi: 10.1111/JOP.12391

- Biswas, S. K., Lopes De Faria, J. B., Biswas, S. K., & Lopes De Faria, J. B. (2007). Which comes first: renal inflammation or oxidative stress in spontaneously hypertensive rats?. *Free radical research*, 41(2), 216-224.
- Calefi, P. H. S., Alcalde, M., Oliveira, S., Vivan, R. R., Weckwerth, P. H., Kato, A. S., & Duarte, M. A. H. (2022). Comparison of the physicochemical properties, antimicrobial action, and cytotoxicity of ambroxol hydrochloride, N-acetylcysteine, and calcium hydroxide pastes. *European Endodontic Journal*, 7(3), 217-222. doi:10.14744/ej.2022.05594
- Choi, Y. S., Kim, C., Moon, J. H., & Lee, J. Y. (2018). Removal and killing of multispecies endodontic biofilms by N-acetylcysteine. *Brazilian journal of microbiology*, 49(1), 184-188. doi:10.1016/j.bjm.2017.04.003
- Corazza, B. J. M., Martinho, F. C., Khoury, R. D., Toia, C. C., Orozco, E. I. F., Prado, R. F., ... & Valera, M. C. (2021). Clinical influence of calcium hydroxide and N-acetylcysteine on the levels of resolvins E1 and D2 in apical periodontitis. *International Endodontic Journal*, 54(1), 61-73. doi:10.1111/iej.13403
- Dioguardi, M., Di Gioia, G., Illuzzi, G., Arena, C., Caponio, V. C. A., Caloro, G. A., ... & Lo Muzio, L. (2019). Inspection of the microbiota in endodontic lesions. *Dentistry Journal*, 7(2), 47. doi:10.3390/dj7020047
- Ehsani, M., Moghadamnia, A. A., Zahedpasha, S., Maliji, G., Haghanifar, S., Mir, S. M. A., & Kani, N. M. (2012). The role of prophylactic ibuprofen and N-acetylcysteine on the level of cytokines in periapical exudates and the post-

treatment pain. *DARU Journal of Pharmaceutical Sciences*, 20(1), 30. doi:10.1186/2008-2231-20-30

- Hasna, A. A., Khoury, R. D., Toia, C. C., Gonçalves, G. B., de Andrade, F. B., Carvalho, C. A. T., ... & Valera, M. C. (2020). In vitro evaluation of the antimicrobial effect of N-acetylcysteine and photodynamic therapy on root canals infected with enterococcus faecalis. *Iranian endodontic journal*, 15(4), 236. doi:10.22037/iej.v15i4.26865
- Jariyamana, N., Chuveera, P., Dewi, A., Leelapornpisid, W., Ittichaicharoen, J., Chattipakorn, S., & Srisuwan, T. (2021). Effects of N-acetyl cysteine on mitochondrial ROS, mitochondrial dynamics, and inflammation on lipopolysaccharide-treated human apical papilla cells. *Clinical Oral Investigations*, 25(6), 3919-3928. doi:10.1007/S00784-020-03721-7
- Jiao, Y., Ma, S., Li, J., Shan, L., Yang, Y., Li, M., & Chen, J. (2015). The influences of N-acetyl cysteine (NAC) on the cytotoxicity and mechanical properties of Poly-methylmethacrylate (PMMA)-based dental resin. *PeerJ*, 3, e868. doi:10.7717/peerj.868
- Jiao, Y., Ma, S., Wang, Y., Li, J., Shan, L., Liu, Q., ... & Chen, J. (2016). N-acetyl cysteine depletes reactive oxygen species and prevents dental monomer-induced intrinsic mitochondrial apoptosis in vitro in human dental pulp cells. *PloS one*, 11(1), e0147858. doi:10.1371/JOURNAL.PONE.0147858
- Jun, J. H., Lee, S. H., Kwak, H. B., Lee, Z. H., Seo, S. B., Woo, K. M., ... & Baek, J. H. (2008). N-acetylcysteine stimulates osteoblastic differentiation of mouse calvarial cells. *Journal of cellular biochemistry*, 103(4), 1246-1255. doi: 10.1002/jcb.21508

- Karapınar, S. P., Ulum, Y. Z. A., Özcelik, B., Buzoğlu, H. D., Ceyhan, D., Peynircioğlu, B. B., & Aksoy, Y. (2016). The effect of N-acetylcysteine and calcium hydroxide on TNF- α and TGF- β 1 in lipopolysaccharide-activated macrophages. *Archives of oral biology*, 68, 48-54. doi:10.1016/j.archoralbio.2016.03.017
- Katoh, M., Wu, B., Nguyen, H. B., Thai, T. Q., Yamasaki, R., Lu, H., ... & Ohno, N. (2017). Polymorphic regulation of mitochondrial fission and fusion modifies phenotypes of microglia in neuroinflammation. *Scientific reports*, 7(1), 4942. doi:10.1038/s41598-017-05232-0
- Kesarwala, A. H., Krishna, M. C., & Mitchell, J. B. (2016). Oxidative stress in oral diseases. *Oral diseases*, 22(1), 9-18. doi: 10.1111/odi.12300
- Kim, D. Y., Jun, J. H., Lee, H. L., Woo, K. M., Ryoo, H. M., Kim, G. S., ... & Han, S. B. (2007). N-acetylcysteine prevents lps-induced pro-inflammatory cytokines and mmp2 production in gingival fibroblasts. *Archives of pharmacal research*, 30(10), 1283-1292. doi:10.1007/BF02980269
- Lee, Y. H., Bhattarai, G., Park, I. S., Kim, G. R., Kim, G. E., Lee, M. H., & Yi, H. K. (2013). Bone regeneration around N-acetyl cysteine-loaded nanotube titanium dental implant in rat mandible. *Biomaterials*, 34(38), 10199-10208. doi: 10.1016/J.BIOMATERIALS.2013.08.080
- Limansubroto, N., Chung, W. O., Johnson, J. D., & Paranjpe, A. (2022). Immunomodulatory Effects of N-Acetyl Cysteine Treated SCAP. *Journal of Endodontics*, 48(8), 1055-1062. doi:10.1016/J.JOEN.2022.05.005
- Marchese, A., Bozzolasco, M., Gualco, L., Debbia, E. A., Schito, G. C., & Schito, A. M. (2003). Effect of fosfomycin alone and in combination with N-acetylcysteine on E. coli

- biofilms. *International journal of antimicrobial agents*, 22, 95-100. doi: 10.1016/S0924-8579(03)00232-2
- Martinho, F. C., Corazza, B. J., Khoury, R. D., Orozco, E. I., Toia, C. C., Machado, F. P., & Valera, M. C. (2023). Impact of N-acetylcysteine (NAC) and calcium hydroxide intracanal medications in primary endodontic infection: a randomized clinical trial. *Clinical Oral Investigations*, 27(2), 817-826. doi:10.1007/S00784-022-04585-9
- Michelsen, V. B., Lygre, H., Skålevik, R., Tveit, A. B., & Solheim, E. (2003). Identification of organic eluates from four polymer-based dental filling materials. *European journal of oral sciences*, 111(3), 263-271. doi: 10.1034/J.1600-0722.2003.00033.X
- Mohammadi, Z., & Dummer, P. M. H. (2011). Properties and applications of calcium hydroxide in endodontics and dental traumatology. *International endodontic journal*, 44(8), 697-730. doi:10.1111/j.1365-2591.2011.01886.x
- Moon, J. H., Jang, E. Y., Shim, K. S., & Lee, J. Y. (2015). In vitro effects of N-acetyl cysteine alone and in combination with antibiotics on *Prevotella intermedia*. *Journal of Microbiology*, 53(5), 321-329. doi:10.1007/s12275-015-4500-2
- Nakashima, M., & Akamine, A. (2005). The application of tissue engineering to regeneration of pulp and dentin in endodontics. *Journal of endodontics*, 31(10), 711-718. doi:10.1097/01.don.0000164138.49923.e5
- Olofsson, A. C., Hermansson, M., & Elwing, H. (2003). N-acetyl-L-cysteine affects growth, extracellular polysaccharide production, and bacterial biofilm formation on solid

surfaces. *Applied and environmental microbiology*, 69(8), 4814-4822. doi:10.1128/AEM.69.8.4814-4822.2003

- Palacio, J. R., Markert, U. R., & Martínez, P. (2011). Anti-inflammatory properties of N-acetylcysteine on lipopolysaccharide-activated macrophages. *Inflammation research*, 60(7), 695-704. doi:10.1007/s00011-011-0323-8
- Palaniswamy, U., Lakkam, S. R., Arya, S., & Aravelli, S. (2016). Effectiveness of N-acetyl cysteine, 2% chlorhexidine, and their combination as intracanal medicaments on *Enterococcus faecalis* biofilm. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 19(1), 17-20. doi: 10.4103/0972-0707.173186
- Pei, Y., Liu, H., Yang, Y., Yang, Y., Jiao, Y., Tay, F. R., & Chen, J. (2018). Biological activities and potential oral applications of N-acetylcysteine: progress and prospects. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2018(1), 2835787. doi:10.1155/2018/2835787
- Pollini, S., Di Pilato, V., Landini, G., Di Maggio, T., Cannatelli, A., Sottotetti, S., ... & Pallecchi, L. (2018). In vitro activity of N-acetylcysteine against *Stenotrophomonas maltophilia* and *Burkholderia cepacia* complex grown in planktonic phase and biofilm. *PLoS One*, 13(10), e0203941. doi: 10.1371/JOURNAL.PONE.0203941
- Portenier, I., Haapasalo, H., Ørstavik, D., Yamauchi, M., & Haapasalo, M. (2002). Inactivation of the antibacterial activity of iodine potassium iodide and chlorhexidine digluconate against *Enterococcus faecalis* by dentin, dentin matrix, type-I collagen, and heat-killed microbial whole cells. *Journal of Endodontics*, 28(9), 634-637. doi:10.1097/00004770-200209000-00002

- Quah, S. Y., Wu, S., Lui, J. N., Sum, C. P., & Tan, K. S. (2012). N-acetylcysteine inhibits growth and eradicates biofilm of *Enterococcus faecalis*. *Journal of endodontics*, 38(1), 81-85. doi:10.1016/j.joen.2011.10.004
- Sadowska, A. M., Manuel-Y-Keenoy, B., & De Backer, W. A. (2007). Antioxidant and anti-inflammatory efficacy of NAC in the treatment of COPD: discordant in vitro and in vivo dose-effects: a review. *Pulmonary pharmacology & therapeutics*, 20(1), 9-22. doi:10.1016/j.pupt.2005.12.007
- Samuni, Y., Goldstein, S., Dean, O. M., & Berk, M. (2013). The chemistry and biological activities of N-acetylcysteine. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 1830(8), 4117-4129. doi:10.1016/j.bbagen.2013.04.016
- Sarin, A., Bhasin, P., Sharma, M., Bindal, D., & Tomar, D. (2019). An in vitro evaluation of antimicrobial effects of three different root canal irrigating solutions against *Enterococcus faecalis* and *Streptococcus mutans*. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, 20(2), 221-225. doi:10.5005/jp-journals-10024-2498
- Schwalfenberg, G. K. (2021). N-acetylcysteine: a review of clinical usefulness (an old drug with new tricks). *Journal of nutrition and metabolism*, 2021(1), 9949453. doi:10.1155/2021/9949453
- Schweikl, H., Hartmann, A., Hiller, K. A., Spagnuolo, G., Bolay, C., Brockhoff, G., & Schmalz, G. (2007). Inhibition of TEGDMA and HEMA-induced genotoxicity and cell cycle arrest by N-acetylcysteine. *Dental Materials*, 23(6), 688-695. doi: 10.1016/J.DENTAL.2006.06.021
- Silveira, L. F. M., Baca, P., Arias-Moliz, M. T., Rodríguez-Archilla, A., & Ferrer-Luque, C. M. (2013). Antimicrobial

activity of alexidine alone and associated with N-acetylcysteine against *Enterococcus faecalis* biofilm. *International Journal of Oral Science*, 5(3), 146-149. doi:10.1038/ijos.2013.58

Tenório, M. C. D. S., Graciliano, N. G., Moura, F. A., Oliveira, A. C. M. D., & Goulart, M. O. F. (2021). N-acetylcysteine (NAC): impacts on human health. *Antioxidants*, 10(6), 967. doi:10.3390/antiox10060967

Toker, H., Ozdemir, H., Eren, K., Ozer, H., & Sahin, G. (2009). N-acetylcysteine, a thiol antioxidant, decreases alveolar bone loss in experimental periodontitis in rats. *Journal of periodontology*, 80(4), 672-678. doi: 10.1902/jop.2009.080509

Tse, H. N., & Tseng, C. Z. S. (2014). Update on the pathological processes, molecular biology, and clinical utility of N-acetylcysteine in chronic obstructive pulmonary disease. *International journal of chronic obstructive pulmonary disease*, 825-836. doi:10.2147/COPD.S51057

Ulusoy, A. T., Kalyoncuoğlu, E., Reis, A., & Cehreli, Z. C. (2016). Antibacterial effect of N-acetylcysteine and taurilidine on planktonic and biofilm forms of *Enterococcus faecalis*. *Dental Traumatology*, 32(3), 212-218. doi:10.1111/edt.12237

Walther, U. I., Siagian, I. I., Walther, S. C., Reichl, F. X., & Hickel, R. (2004). Antioxidative vitamins decrease cytotoxicity of HEMA and TEGDMA in cultured cell lines. *Archives of oral biology*, 49(2), 125-131. doi:10.1016/j.archoralbio.2003.08.008

Yamada, M., Tsukimura, N., Ikeda, T., Sugita, Y., Att, W., Kojima, N., ... & Ogawa, T. (2013). N-acetyl cysteine as an osteogenesis-enhancing molecule for bone

regeneration. *Biomaterials*, 34(26), 6147-6156.
doi:10.1016/j.biomaterials.2013.04.064

Zafarullah, M., Li, W. Q., Sylvester, J., & Ahmad, M. (2003). Molecular mechanisms of N-acetylcysteine actions. *Cellular and Molecular Life Sciences CMLS*, 60(1), 6-20.

Zheng, R., Tan, Y., Gu, M., Kang, T., Zhang, H., & Guo, L. (2019). N-acetyl cysteine inhibits lipopolysaccharide-mediated synthesis of interleukin-1 β and tumor necrosis factor- α in human periodontal ligament fibroblast cells through nuclear factor-kappa B signaling. *Medicine*, 98(40), e17126.
doi:10.1097/MD.00000000000017126

KÖK KANAL DENTİNİNE BAĞLANTI YÖNTEMLERİ

Büşra KÜLTÜR¹

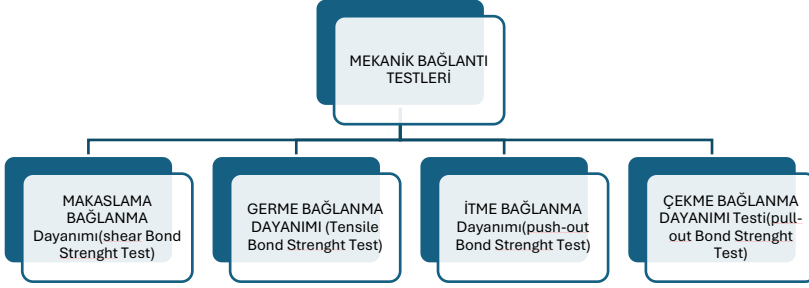
Mehmet ESKİBAĞLAR²

Endodonti ve materyal bilimi alanında kaydedilen ilerlemelerle birlikte her geçen gün yeni kök kanal dolgu materyalleri üretilmektedir. Bu materyallerin ideale yakın özelliklere sahip olabilmesi önemlidir, bu sebeple materyallerin dayanıklılık, biyoyumluluk, stabilite gibi fiziksel, biyolojik ve kimyasal özellikleri geliştirilmektedir. Dentine iyi bir bağlantı, kök kanal dolgu materyalinden istenen özelliklerden en önemlisidir ve hermetik (sızdırmaz) bir kök kanal dolgusu elde etmek bakımından gereklidir. Hermetik bir kök kanal dolgusu, kök kanalının temizleme ve şekillendirme işlemleri ile uzun dönem başarıda etkilidir. Kök kanalı, bağlantı değerlendirmesi açısından güç bir anatomik yapı gösterir. Bu nedenle bu yapıya en uygun test metodunu kullanmak güvenilir sonuçlar elde etmek açısından çok önemlidir. Kök kanalına bağlantıyı değerlendirmek üzere geçmişten günümüze pek çok test metodu kullanılmıştır. Bağlanma dayanımı testleri, iki materyal arasındaki bağlantıyı bozmak için gerekli olan stresi ölçmek üzere tasarlanmış mekanik testlerdir. Bağlanmanın kalitesi direkt olarak herhangi bir bağlanma dayanımı testi ile belirlenemese de bu testlerden elde edilen sonuçlara dayanarak birtakım çıkarımlarda bulunulabilir

¹ Araştırma Görevlisi, Fırat Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, ORCID: 0009-0004-0020-2902.

² Doçent Doktor, Fırat Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, ORCID: 0000-0003-0183-3824.

(1). Genel olarak endodontik yüzeylerde uygulanan test yöntemleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (1);



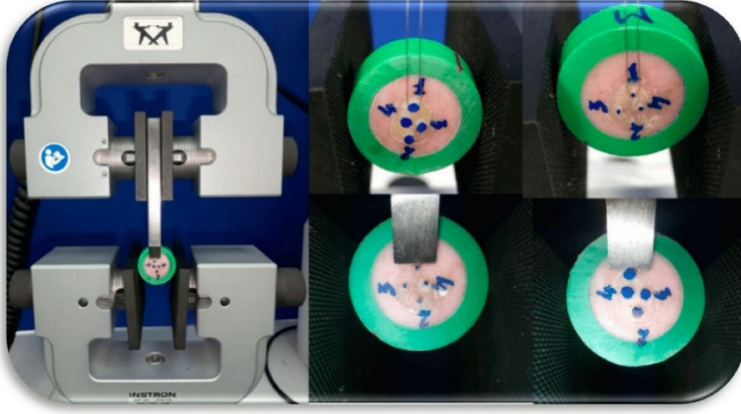
Makaslama Bağlanma Dayanımı (Shear Bond Strenght Test)

Makaslama bağlanma dayanımı (MBD) testi, diş hekimliği materyallerinin bağlanma performansını değerlendirmek için en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir (2). Bu test, özellikle adeziv sistemlerin, kompozit rezinlerin ve diğer dental materyallerin bağlanma kapasitesini ölçmek amacıyla kullanılır (3). MBD testi, numune hazırlama kolaylığı, basit test protokolü ve düşük ön test başarısızlık oranı gibi avantajları nedeniyle laboratuvarlarda sıklıkla tercih edilir. Ancak, testin bazı sınırlamaları ve elde edilen sonuçların değişkenliği, literatürde tartışma konusu olmuştur.

MBD Testi Yöntemi ve Avantajları

MBD testinde, adeziv ajan ile birbirine tutturulan iki materyal, kırılma gerçekleşene kadar makaslama yüküne maruz bırakılır. Dentin örnekleri akrilik rezin bloklar içerisine yerleştirilir ve düz dentin yüzeyi üzerine 3-4 mm çapında silindir şekilli polietilen tüpler sabitlenir. Test edilen materyal bu tüpün içerisine yerleştirilip kondanse edilir. Belirlenen inkübasyon periyodu tamamlandıktan sonra silindir şekilli kalıplar materyalden uzaklaştırılır. Dentin yüzeyine dik olarak konumlandırılmış test materyaline, keskin kenarlı cisimler veya

tel halkalar ile makaslama kuvveti uygulanır (Şekil 1). Yük, genellikle dakikada 1 mm hızla uygulanır ve kırılma gerçekleşene kadar kuvvet aşamalı olarak artar. Kırılma anındaki kuvvet kaydedilir ve bağlantı yüzey alanına bölünerek MBD değeri megapascal (MPa) cinsinden hesaplanır (4, 5).



Şekil 1. Keski ve tel halka kullanılarak makro ve mikro kesme kompozit numunelerinin yüklenmesi (2).

MBD testinin sınırlamaları

MBD testi, uzun süredir bağlanma arayüzünde meydana gelen kesme kuvveti ile bağ dayanımını temsil etme konusunda "gerçek" bağ dayanımını yansıtmadığı gerekçesiyle eleştirilmektedir. Test sırasında kırılmaya yol açan çatlak ucu, minimum gereken kesme gerilmesi yerine istenmeyen yüksek çekme bileşeniyle tetiklenebilir. Bu durum, yükün alt tabakada kohezyonel bir kırılma oluşturarak boşa harcanmasına neden olur. Ayrıca, MBD testinin stres deseni homojen değildir ve çoğu durumda gerçek kesme sürecini yansıtmamaktadır (2).

Sonlu elemanlar analizi kullanan çalışmalar, geleneksel (makro) kesme bağ mukavemeti testinin homojen olmayan ve heterojen gerilim desenleriyle sonuçlandığını göstermiştir. Bu sınırlamaların üstesinden gelmek için, küçük bağlanma alanlarına (1 mm²'den az) sahip numunelerin kullanıldığı mikro kesme bağ

mukavemeti testleri geliştirilmiştir (6). Mikro kesme testleri, özellikle cam iyonomer ve mine gibi nispeten daha kırılğan yapıların test edilmesinde daha uygundur (7).

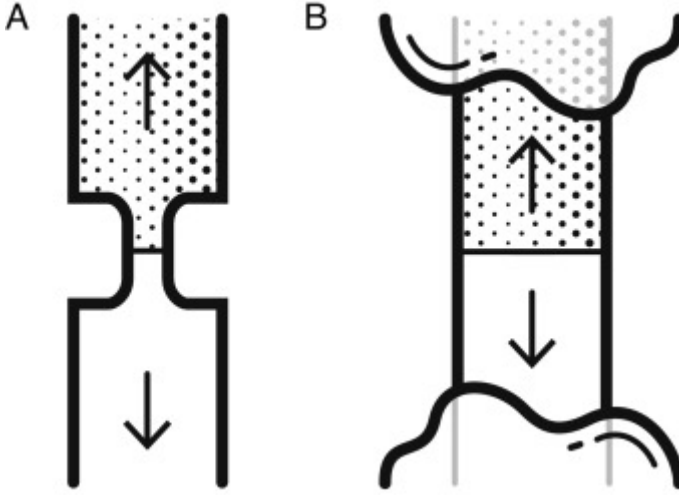
Kırık analizi ve önemi

MBD testi sonrasında kırık analizi büyük önem taşır. Kırık veya başarısızlığın hangi yüzeyde ve seviyede olduğunun tespiti, testin doğru uygulanabildiğini gösterir ve materyallerin zayıf yönleri hakkında bilgi verir. Örneğin, pat içerisinde devamlı koheziv kırıklar oluşan bir grupta, elde edilen değer materyalin koheziv başarısızlık değeridir ve bağlanma dayanımı değeri olarak kabul edilemez. Diğer yandan, adeziv kırılma olan örnekler çoğunlukta ise doğru bir bağlanma dayanımı değerini elde edilebilir (8).

Germe Bağlanma Dayanımı (GBD) TESTİ (Tensile Bond Strength Test)

Makro-Germe Bağlanma Dayanımı (MGBD) Testi

Makro-Germe Bağlanma Dayanımı (MGBD) testi, imento ile seramik ve metal alaşımları gibi sert malzemeler arasındaki bağlanma dayanımını ölçmek için kullanılan bir yöntemdir (9). MGBD testi, kesme testlerine kıyasla daha homojen bir stres dağılımı sağlar ve bağlanmanın kırılmasını başlatan stres seviyesini daha doğru bir şekilde tahmin eder (10). Test sırasında yük, numunenin her iki tarafına uygulanır. Bağlanma yüzeyinin yükleme eksenine dik olarak hizalanması kritik öneme sahiptir; aksi takdirde bükülme stresleri oluşabilir (9). Numuneler, aktif veya pasif tutma yöntemleriyle mekanik test cihazlarına sabitlenir (şekil 2) (11).



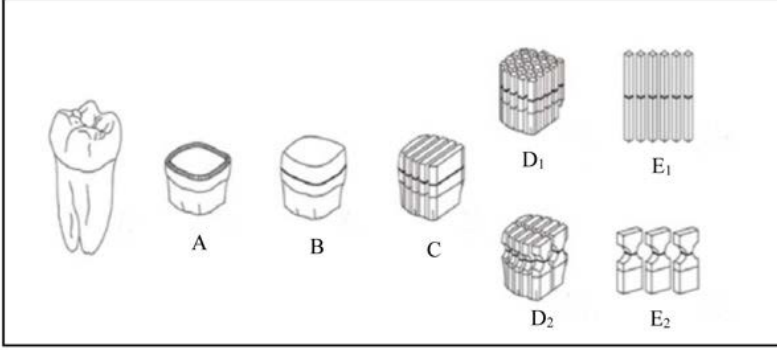
Şekil 2. (A) Pasif tutma cihazı; (B) aktif tutma cihazı (11)

Mikro-Germe Bağlanma Dayanımı (μ GBD) Testi

Mikro-Germe Bağlanma Dayanımı (μ GBD) testi, ilk olarak Sano ve arkadaşları tarafından 1994 yılında diş hekimliğinde kullanılmıştır. Bu yöntem, mineralize ve demineralize dentinin elastik modülünü ve bağlanma dayanımını ölçmek için geliştirilmiştir (12). μ GBD testi, geleneksel kesme ve germe testlerine kıyasla daha küçük yüzeylerde daha homojen bir stres dağılımı sağlar (10) ve normal dentin, çürük dentin, sklerotik servikal dentin ve mine gibi farklı dokularda (12) restoratif malzemelerin, rezin simanların ve bağlanma sistemlerinin diş dokularına olan adezyonunu değerlendirmek için yaygın olarak kullanılır (1). Kök kanalı gibi küçük alanlarda bağlanma dayanımını ölçmek ve bölgesel farklılıkları incelemek için idealdir. Ayrıca, irrigasyon solüsyonları ve kanal dolgu çözücülerin bağlanma üzerindeki etkilerini değerlendirmek için de kullanılır (1).

μ GBD testi, düz okluzal yüzeylerde hazırlanan kompozit bloklar üzerinde uygulanır. Numuneler, yüksek hızlı elmas diskler ve su soğutması kullanılarak hazırlanır (**Şekil 3**) (9). Test

numunelerinin uzunluğu genellikle 10-24 mm arasındadır ve bu uzunluğun yarısı diş yapısı, diğer yarısı restoratif malzemedendir. 4 mm'den kısa numuneler test için uygun değildir (12).



Şekil 3. Mikro-germe bağ mukavemeti testi için numunelerin alınmasının şematik gösterimi. (A) Dişini açığa çıkarmak için dişin oklüzal yüzeyinin çıkarılması; (B) Diş yüzeyinde bağlama prosedürü ve kompozit reçine bloklarının yapımı; (C) Numune dikey olarak birden fazla seri bölüme kesilir; (D 1 , E 1) Kesilmemiş numuneler (çubuk şeklinde); (D 2 , E 2) Kesilmiş numuneler (9)

Numuneler, kum saati (hourglass) veya dambıl (dumbbell) şeklinde aşındırılarak veya aşındırılmadan (düz dentin çubuğu şeklinde) hazırlanabilir. Kum saati şeklindeki numuneler, daha iyi stres dağılımı sağlar ancak hazırlanması daha zordur ve mikro çatlaklar oluşma riski yüksektir. Dambıl şeklindeki numuneler ise daha kolay hazırlanır ancak stres dağılımı daha az homojendir (1, 9). Bu testin avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibidir.

µTBS testinin avantajları (12)

1. Bir diştten çok sayıda küçük numune elde edilebilir.
2. Ara yüzeyde daha homojen stres dağılımı sağlar.
3. Bölgesel bağlanma dayanım farklılıklarını değerlendirme imkânı sunar.
4. Çürük dentin gibi küçük alanlarda test yapılabilir.

5. Mekanik, morfolojik ve kimyasal analizler aynı numune üzerinde gerçekleştirilebilir.

μTBS testinin dezavantajları (12)

1. Yoğun laboratuvar çalışması ve özel ekipman gerektirir.
2. 5 MPa altındaki dūřuk baęlanma dayanım deęerlerini ölçmek zordur.
3. Numuneler kolayca dehidrate olabilir veya zarar görebilir.
4. Test öncesi kopmalar (pre-test failures) sık görülür.

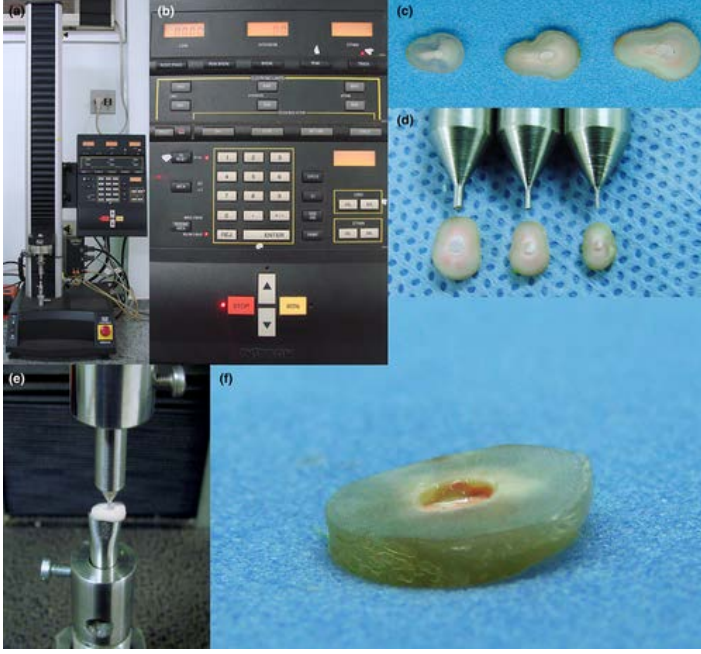
İtme Bağlanma Dayanımı (Push-Out Testi)

İtme bağlanma dayanımı testi biyomedikal araştırmalar alanında ilk olarak ortopedik implantların kemiğe bağlanmasını değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır. Diş hekimliği alanında ise ilk defa kompozitlerin dentine bağlantısını değerlendirmek için kullanılmıştır (1). Push-out testi, son yıllarda endodontide yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu test, farklı dolgu malzemelerinin yer değiştirme kuvvetlerine karşı dirençlerini incelemeye dayanır. Test, dolgu malzemelerinin kök kanalındaki davranışını anlamaya yönelik ön bilgi sağlarken dolgunun genel kalitesine dair hızlı ve kapsamlı bir değerlendirme yapmaya olanak tanır (13). Push-out testleri, sızıntı testlerinin yüksek etkili endodonti dergilerinden çıkarılmasıyla bu boşluğu doldurmuş ve kor dolgu materyali ile kök dentini arasında etkin bir bağ yüzeyi oluşturma çalışmalarının artmasıyla önem kazanmıştır (14).

Test yöntemi

Konvansiyonel push-out testinde, dolgu yapılmış dişlerden farklı seviyelerde ince dilimler elde edilir. Kök eksenine paralel olarak dolgu kütesine çekme kuvveti uygulanır ve malzeme yerinden çıkana kadar işlem sürdürülür. Dolgu malzemesinin yerinden çıkarılması için gereken kuvvet Newton (N) cinsinden ifade edilir. Bağlanma dayanımı ise bu kuvvetin

dolgu malzemesinin dentinle bağlandığı yüzey alanına (mm²) bölünmesiyle Megapascal (MPa) olarak hesaplanır (Şekil 4) (15).



Şekil 4. İtme bağlanma testi. (a–b) Üniversal test makinesi; (c) endodontik olarak tedavi edilmiş bir köpek dişinin koronal, orta ve apikal üçte birlik kısımlarından elde edilen ±1 mm'lik dilimler. (d–e) Farklı boyutlarda aktif uçlar kullanılarak standart bir çapraz kafa hızında gerçekleştirilen itme bağlanma testi (itme); (f) itme testinden sonra doldurulmuş materyalin kök kanal duvarlarından ayrıldığını gösteren örnekler(15)

Bağlanma yüzeyi, kesit alanı bir konik kesitin yan yüzeyi olarak düşünülerek řu formülle hesaplanır (15):

$$\pi(R + r)[h^2 + (R - r)^2]^{(0.5)}$$

Burada

π : 3.14,

R: koronal kanal yarıçapı,

r: apikal kanal yarıçapı,

h: dilim kalınlığıdır.

Kalitatif analizlerde, başarısızlık türleri genellikle řu şekilde sınıflandırılır (16): İtme bağlanma dayanımı testlerinde başarısızlık (kırılma) çeşitleri, tamir materyalinin dentin yüzeyine ne şekilde tutunduğunu ve zayıf halkaların nerede olduğunu değerlendirmek için oldukça önemlidir (17). Push-out testi sonrası başarısızlık tipleri, ISO 29022 standartlarında belirtildiği şekilde; adeziv, koheziv ve mikst kırık tipleri olarak sınıflandırılmıştır (18).

1. Adeziv başarısızlık

Tamir materyali ile dentin arasındaki bağın tamamen kopmasıdır. Dentin yüzeyi temiz kalırken, tüm materyal diskten ayrılır. Bağ yüzeyine zayıf tutunma veya materyalin yüzey enerjisi/dentin nem durumu nedeniyle bağlantının yetersiz olduğunu gösterir (17).

2.Koheziv başarısızlık

Kopma, tamir materyalinin kendi içinden gerçekleşir. Dentin yüzeyinde materyalin bir kısmı kalır; materyal ikiye ayrılmıştır. Materyalin kendi iç yapısal dayanımının zayıf olduğunu ve dentine tutunmanın yeterli olduğunu gösterir (17).

3. Mikst başarısızlık

Hem adeziv hem koheziv elemanlar içeren kırık tipidir. Dentin yüzeyinde materyal kalıntıları bulunur, ancak ayrılma hem ara yüzeyden hem materyal içinden olmuştur. Gerçekçi klinik senaryolarda en sık görülen tiptir ve ara yüzey ile materyal dayanımının denk olduğunu gösterir (17).

İtme bağlanma dayanımı testinin temel avantajı, malzemenin dentinle çevrili kanal ortamında test edilebilmesidir. Bu, klinik kullanımı daha iyi yansıtabilir. Bununla birlikte, testin yapılandırılmasında çalışmalara göre farklılıklar bulunmakta ve bu durum sonuçların karşılaştırılmasını güçleştirmektedir. Diş preperasyonu, piston çapı, dolgu malzemesi özellikleri ve kök

kanalı hazırlama yöntemi bu farklılıklar arasındadır (19). Rastgele seçilen tek köklü dişlerle yapılan çalışmalar anatomik uyumsuzluk nedeniyle yanlılıklara neden olabilir. Ayrıca dentin arayüzünün düzgün olmaması test sonuçlarını etkileyebilir. Daha temiz kanal duvarlarının dolgu malzemesi adaptasyonunu arttırdığı gösterilmiştir (20). Bazı çalışmalar, yalnızca dolgu malzemesi ile doldurulan kanallar kullanarak ya da kök dentin dilimlerinde yapay, standardize kanallar oluşturarak (split mouth design) testin iç geçerliliğini artırmayı amaçlamıştır (21). Bu yaklaşım, dolgu malzemelerinin hızlı ve pratik ön taramasını sağlarken farklı dolgu tekniklerinin karşılaştırılmasını zorlaştırabilmektedir (22). İtme bağlanma dayanımı testinin avantajları ve dezavantajlarına rağmen endodontide dolgu malzemelerinin değerlendirilmesinde hala değerli bir yöntem olduğu kabul edilmektedir.

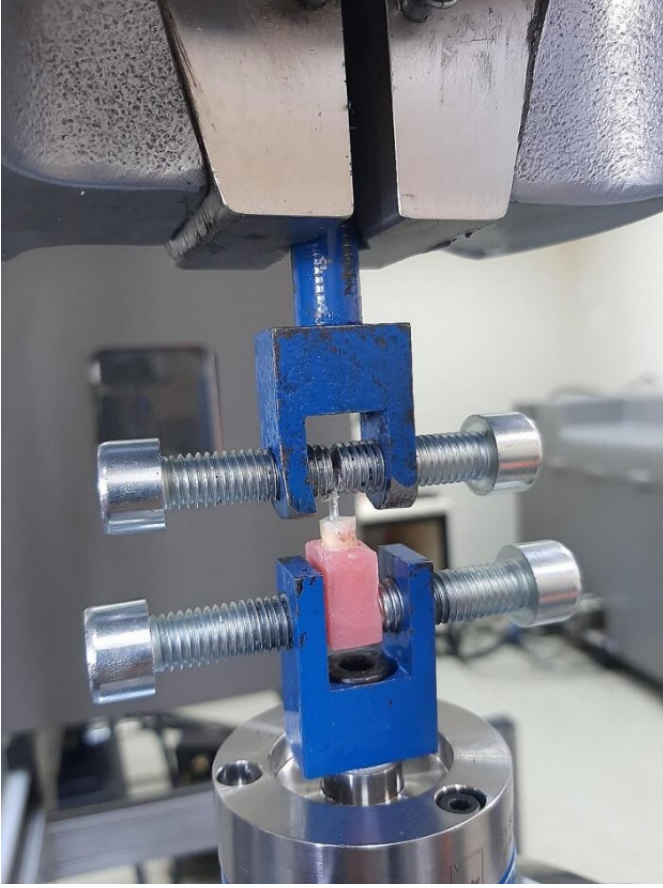
Çekme Bağlanma Dayanımı Testi (Pull-Out Bond Strength Test)

Dentin ve postlar arasındaki adezyon, diş restorasyonlarının başarısında kritik bir faktördür. Bu adezyonun etkili şekilde değerlendirilmesi, çeşitli mekanik testlerle mümkün olmaktadır. Bu testlerden biri olan Çekme Bağlanma Dayanımı (Pull-Out Bond Strength Test - ÇBD), post ile kök kanal dentini arasındaki bağ kuvvetini belirlemede önemli bir araç olarak kullanılmaktadır (23).

Test yöntemi

ÇBD testi, post ve kök kanal dentini arasındaki bağlanma dayanımını belirlemek için yaygın olarak kullanılan bir test yöntemidir. Bu testte post yerleştirilmiş diş örnekleri akril bloklar içerisine sabitlenir. Daha sonra post, çevresel olarak matkap ucu ile sıkıştırılarak test cihazının bir parçası olan kanca yardımıyla kanaldan çıkarmaya yönelik çekme kuvveti uygulanır (Şekil 5). Bu kuvvet, dişin ve postun uzun aksına paralel olacak şekilde

dakikada 0,5 veya 1 mm hızında uygulanır. Postun kanaldan koptuğu anda kaydedilen kuvvet, bağ dayanımı değeri olarak kabul edilir (1).



Şekil 5. Çekme bağlanma dayanımı testi tasarımı (24)

Çekme bağlanma dayanımı testi avantajları (1)

- **Aynı anda makaslama ve germe kuvveti değerlendirmesi:** BD testi, bağ dayanımını sadece germe kuvvetiyle değil, aynı zamanda makaslama kuvvetiyle de değerlendirebilir. Bu özelliği, testin kapsamını genişletmektedir.

- **Klinik durumu daha iyi yansıtma:** Klinik şartlarda fiber postlar genellikle bütün olarak kanaldan çıkmakta ve kırılma nadiren görölmektedir. ÇBD testi bu klinik durumu itme bağlanma dayanımı testine göre daha gerçekçi bir şekilde yansıtmaktadır.
- **Her tip post simantasyonu:** ÇBD testi, farklı post tiplerinin simantasyonunda bağ dayanımını değerlendirme imkânı sunar.

Çekme bağlanma dayanımı testi dezavantajları(1)

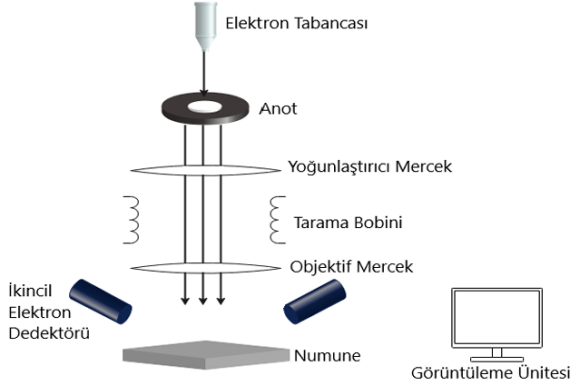
- **Yüksek örnek sayısı gereksinimi:** Mikro testlerde bir dişten birden fazla örnek elde edilebilirken, ÇBD testinde her diş bir örnek olarak kullanılır. Bu durum, istatistiksel olarak güvenilir sonuçlar elde etmek için daha fazla örnek gerektirir.
- **Standart numune elde etme zorluğu:** Her bir numunenin farklı bir dişten elde edilmesi, standart örnek oluşturmayı zorlaştırır.
- **Post sayısı ve maliyet:** ÇBD testinde kullanılan post sayısının fazla olması maliyeti artırmaktadır.

Kök Kanalına Bağlanmayı Değerlendiren Destekleyici Yöntemler

Taramalı Elektron Mikroskobu

Taramalı elektron Mikroskobu (SEM), yüksek büyütme oranları (50x - 10.000x ve üzeri) ile detaylı görüntüler elde etmek için kullanılan bir elektron mikroskobu türüdür (25). Diş hekimliğinde ilk kez 1962 yılında kullanılmaya başlanmıştır (25). Yüksek voltajla hızlandırılmış elektronlar, örnek yüzeyine odaklanır ve tarama yapar. Elektronlar ile örnek atomları arasındaki etkileşimler dedektörler tarafından algılanır ve bu sinyaller işlenerek görüntü oluşturulur. Numunenin yüzeyi

elektronların yansıtılması için altın- palladyum ile kaplanarak taranmaktadır (26). Işık kullanılmaz, bu nedenle örneğin rengi görüntüyü etkilemez. Bu özellik, özellikle beyaz veya açık renkli diş dokularının incelenmesinde avantaj sağlar (27).



Şekil 6. Klasik SEM cihazının temel yapısı (28)

SEM üstün alan derinliği ve yüksek çözünürlük sunar. Örneğin morfolojik yapısı, yüzey özellikleri ve atomik dizilimi hakkında detaylı bilgi verir. Dentin tübüllerindeki kanal dolgu patı, smear tabakası ve kök kanal duvarındaki yüzey değişiklikleri gibi ince detayların analizine olanak tanır (25). Düşük büyütme seviyelerinde tüm yüzeyin görüntüsünü elde etmek zordur. Yüksek maliyetli bir cihazdır ve uzman bir operatör gerektirir (29).

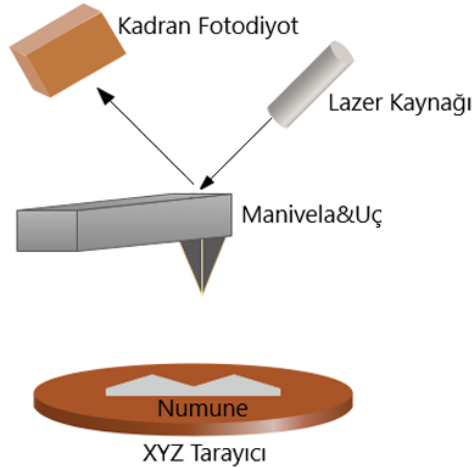
Enerji Dağılımlı X Işını Analizi (SEM-EDS)

X ışını kaynağından gönderilen sinyaller, örnekle etkileşime girerek dokudan yayılan X ışınlarını üretir. Bu ışınlar, enerji dağılımlı spektrometre (EDS) tarafından ölçülerek örneğin mineral içeriği ve element analizi yapılır (26). SEM cihazına entegre edilerek kullanılır(30). SEM-EDS, SEM'in sahip olduğu tüm görüntüleme yeteneklerini korurken, ek olarak elementel analiz yapabilme özelliğiyle daha kapsamlı bir analiz sunar. Bu, özellikle dental malzemelerin ve biyomalzemelerin hem yapısal

hem de kimyasal özelliklerinin bir arada değerlendirilmesi için büyük bir avantajdır. SEM-EDS, SEM'e göre daha fazla bilgi sağlayarak, araştırmacılar ve klinisyenler için daha geniş bir analiz imkanı sunmaktadır (26).

Atomik Kuvvet Mikroskobu (AKM)

Atomik Kuvvet Mikroskobu (AKM), yüzeylerin nanometre ölçeğinde üç boyutlu haritalanmasını sağlayan yüksek çözünürlüklü bir görüntüleme tekniğidir. Optik ve elektron mikroskoplarından farklı olarak ışık veya elektron kullanmaz, yüzeyi fiziksel olarak hissederek veri toplar (31). FM, bir iğneyi kullanarak numune yüzeyini piezoelektrik malzeme yardımıyla tarar. Numune ile prob ucu arasındaki atomlar arası etkileşim kuvvetleri belirlenerek görüntü oluşturulur. Çözünürlüğü, ışık mikroskoplarında olduğu gibi dalga boyu ile sınırlı değildir. Elektron mikroskoplarından farklı olarak, canlı örneklerde doğrudan analiz yapılabilir ve hücre fiksasyonu veya kurutma gerektirmez (32).



Şekil 7. Klasik atomik kuvvet mikroskop şeması (28).

AKM, diř minesindeki erozyonun değerlendirilmesi, mine demineralizasyonunun erken aşamalarının belirlenmesi, kompozit rezin artıklarının uzaklaştırılması sonrası mine yüzeý pürüzlülüğünün analizi, kök kanal yüzeýlerinin ve kök kanal eğelerinin yüzeý karakterizasyonu, kök kanal patlarının dentine bağlantısının incelenmesi ve adezyon kuvvetlerinin ölçülmesi gibi diř hekimliği alanında çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır (1, 31, 32). AKM, yalıtkan numuneleri bozmadan inceleyebilmesi, farklı ortamlar (sıvı, hava, vakum) altında çalışabilmesi, çatlak büyüme süreçlerini detaylı olarak görüntüleyebilmesi, numunelerde ön hazırlık gerektirmemesi ve temassız mod ile nanopartikül analizinde stabilite sağlaması gibi birçok avantaja sahiptir (32, 33).

Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrofotometresi (FTIR)

Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR), katı, sıvı veya gaz halindeki maddelerin kızılötesi ışınları absorpsiyon ve emisyon özelliklerini analiz eden bir tekniktir (34). Moleküler bağ karakterizasyonu sağlamakla birlikte, biyokimyasal bileşenlerin (karbonhidratlar, amino asitler, fosfolipitler) analizinde yaygın olarak kullanılır (28). FTIR analizinde, kızılötesi radyasyon numune yüzeyine yönlendirilir ve absorplanan ya da iletilen ışınlar ölçülerek spektrum oluşturulur. Her numunenin moleküler yapısına özgü olan bu spektrum, malzemenin parmak izi gibi benzersizdir. Her molekül, kendine özgü fonksiyonel gruplara sahip olduğundan FTIR spektrumlarında karakteristik dalga boyu pikleri oluşturur (34).

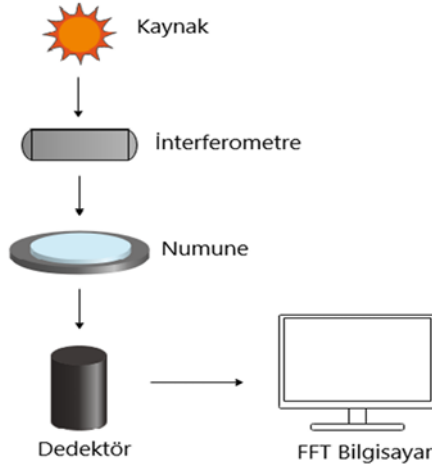
FTIR Cihazının Temel Bileşenleri (35)

Kızılötesi kaynak: Numuneye ulaşan ışın miktarını kontrol eder.

İnterferometre: Işını spektral olarak kodlar.

Örnek bölümü: Işın, numune ile etkileşime girerek spektral değişim oluşturur.

Dedektör: Spektral verileri dijital sinyale dönüştürerek analiz için Fourier dönüşümüne tabi tutar.



Şekil 8. Klasik FTIR şematik diyagramı (28)

Numune hazırlama teknikleri (36)

KBr pellet yöntemi: Katı numunelerin ince film haline getirilmesini gerektirir.

ATR-FTIR (Zayıflatılmış toplam yansıma): Numunelerin doğrudan analiz edilmesine imkân tanır, hızlı ve minimum hazırlık gerektirir

FTIR spektroskopisi, kimyasal bileşim, yapısal değişiklikler ve biyolojik dokularla etkileşimler açısından dental malzemeleri analiz etmek için endodontide yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu teknik, kök dentinin kimyasal modifikasyonları (37), kanal patlarının sertleşme reaksiyonları (38) ve endodontik malzemelerin stabilitesi (39, 40) hakkında önemli bilgiler sağlar. Ayrıca, organik ve inorganik bileşiklerin yapısal analizi, fonksiyonel grupların belirlenmesi, kök kanal

patları ve dentin arasındaki bağlanmanın incelenmesi, adeziv rezin simanların bağlanma dayanımının değerlendirilmesi ve malzemelerin kimyasal bileşim değişikliklerinin tespiti gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (28, 34, 36).

Raman Spektroskopisi

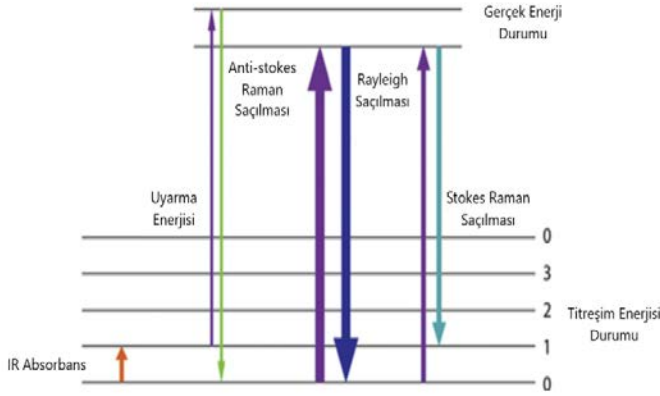
Raman spektroskopisi, ışığın bir numune ile etkileşime girerek saçılmasını inceleyen bir titreşim spektroskopi tekniğidir. Kuvvetli bir lazer ışını kullanılarak numuneden saçılan ışık belirli açılardan ölçülür (41). Raman spektroskopisi, moleküllerin kimyasal yapısını ve bağlarını analiz etmek için güçlü bir araçtır.

Raman saçılması türleri (42)

Rayleigh saçılması: Saçılan ışığın enerjisi, gelen ışıkla aynıdır.

Stokes raman saçılması: Numune, ışığın bir kısmını emer ve daha düşük enerjili ışık saçır.

Anti-stokes raman saçılması: numune, enerjisinin bir kısmını ışığa aktarır ve saçılan ışık daha yüksek enerjiye sahip olur.



Şekil 9. Raman spektrumunun enerji seviyeleri (43)

Raman spektroskopisi bileşenleri (28)

Lazer kaynağı: Numuneye foton sağlamak için kullanılır (örneğin, He-Ne veya Nd:YAG lazer).

Aydınlatma sistemi: Lazerin numuneye odaklanmasını sağlar.

Spektrometre: Saçılan ışığı analiz eder ve Raman spektrumunu oluşturur.

Raman spektroskopisi, endodontide biyomateryallerin karakterizasyonu (40, 44), kök kanal patlarının ve adeziv sistemlerin bağlanma mekanizmalarının analiz bakteriyel kontaminasyonun tespiti (45), inflamasyonun belirlenmesi (46) ve aletlerin yapısal analizleri (47) irrigasyon solüsyonları (48) ve medikametlerin (49) dentin üzerindeki etkisi gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu yöntem, tahribatsız analiz yapabilme avantajı sayesinde, özellikle kök kanal dolgu materyalleri, irrigasyon solüsyonları ve biyoseramik çimentolar üzerine yapılan çalışmalarda yaygın olarak tercih edilmektedir.

KAYNAKÇA

1. Akbulut MB, Belli S. Kök kanal dentinine bağlantı: güncel test yöntemlerine genel bakış. *Turkiye Klinikleri Endodontics-Special Topics*. 2017;3(1):70-7.
2. Ismail AM, Bourauel C, ElBanna A, Salah Eldin T. Micro versus macro shear bond strength testing of dentin-composite interface using chisel and wireloop loading techniques. *Dentistry Journal*. 2021;9(12):140.
3. Rahimi M, Jainan A, Parashos P, Palamara J, Messer H. Enhancing the bond of a resin-based sealer to root dentine. *International Endodontic Journal*. 2012;45(12):1141-7.
4. Kaup M, Dammann CH, Schäfer E, Dammaschke T. Shear bond strength of Biodentine, ProRoot MTA, glass ionomer cement and composite resin on human dentine ex vivo. *Head & face medicine*. 2015;11:1-8.
5. Shooter KJ, Griffin MP, Kerr B. The effect of changing crosshead speed on the shear bond strength of orthodontic bonding adhesive. *Australasian Orthodontic Journal*. 2012;28(1):44-50.
6. Phrukkanon S, Burrow M, Tyas M. Effect of cross-sectional surface area on bond strengths between resin and dentin. *Dental materials*. 1998;14(2):120-8.
7. Roeder L, Pereira PN, Yamamoto T, Ilie N, Armstrong S, Ferracane J. Spotlight on bond strength testing—Unraveling the complexities. *Dental Materials*. 2011;27(12):1197-203.
8. Van Meerbeek B, Peumans M, Poitevin A, Mine A, Van Ende A, Neves A, et al. Relationship between bond-strength tests and clinical outcomes. *Dental materials*. 2010;26(2):e100-e21.

9. El Mourad AM. Assessment of bonding effectiveness of adhesive materials to tooth structure using bond strength test methods: a review of literature. *The open dentistry journal*. 2018;12:664.
10. Braga RR, Meira JB, Boaro LC, Xavier TA. Adhesion to tooth structure: a critical review of “macro” test methods. *Dental Materials*. 2010;26(2):e38-e49.
11. Armstrong S, Breschi L, Özcan M, Pfefferkorn F, Ferrari M, Van Meerbeek B. Academy of Dental Materials guidance on in vitro testing of dental composite bonding effectiveness to dentin/enamel using micro-tensile bond strength (μ TBS) approach. *Dental Materials*. 2017;33(2):133-43.
12. Tekçe N, Demirci M. Mikrogerilim bağlanma dayanım testi ve sonuçlarını etkileyen etkenler. *Atatürk Üniversitesi Dış Hekimliği Fakültesi Dergisi*. 2015;24(1):134-52.
13. Chen W-P, Chen Y-Y, Huang S-H, Lin C-P. Limitations of push-out test in bond strength measurement. *Journal of endodontics*. 2013;39(2):283-7.
14. De-Deus G. Research that matters-root canal filling and leakage studies. *International Endodontic Journal*. 2012;45(12).
15. De-Deus G, Souza EM, Silva EJNL, Belladonna FG, Simões-Carvalho M, Cavalcante DM, et al. A critical analysis of research methods and experimental models to study root canal fillings. *International Endodontic Journal*. 2022;55:384-445.
16. Carneiro S, Sousa-Neto Md, Rached-Júnior F, Miranda CES, Silva S, Silva-Sousa Y. Push-out strength of root fillings with or without thermomechanical compaction. *International endodontic journal*. 2012;45(9):821-8.

17. İpek İ, Ünal M, Güner A, Candan M. Push-out bond strength of Biodentine, MTA repair HP, and a new pre-mixed NeoPutty bioactive cement: scanning electron microscopy energy dispersive X-ray spectroscopy analysis. *Journal of the Australian Ceramic Society*. 2022;1-9.
18. ISO-Standards. ISO 29022 Dentistry-Adhesion-Notched-edge shear bond strength test. International Organization for Standardization Geneva, Switzerland; 2013.
19. Brichko J, Burrow MF, Parashos P. Design variability of the push-out bond test in endodontic research: a systematic review. *Journal of endodontics*. 2018;44(8):1237-45.
20. De-Deus G, Accorsi-Mendonça T, e Silva LdC, de Souza Leite CA, da Silva D, Moreira E JL. Self-adjusting file cleaning-shaping-irrigation system improves root-filling bond strength. *Journal of Endodontics*. 2013;39(2):254-7.
21. De-Deus G, Ferreira CB, Oliveira Dda S, de Queiroz TF, Souza EM, De Gouvêa C, et al. Resistance of hydraulic calcium silicate cements to dislodgment in short-and long-term assessment. *J Adhes Dent*. 2016;18(2):157-60.
22. Silva EJNL, Carvalho NK, Prado MC, Zanon M, Senna PM, Souza EM, et al. Push-out bond strength of injectable pozzolan-based root canal sealer. *Journal of endodontics*. 2016;42(11):1656-9.
23. Castellan CS, Santos-Filho PC, Soares PV, Soares CJ, Cardoso PE. Measuring bond strength between fiber post and root dentin: a comparison of different tests. *J Adhes Dent*. 2010;12(6):477-85.
24. İskefli N, Yeğın E, Sezgin GP, Kaplan SS, Kaplan T. Effect of reapplication on pull-out bond strength of fibre post to

- root dentin: An in vitro study. *The Saudi Dental Journal*. 2024;36(4):574-8.
25. Özata MY, Kaya S, Yolcu EN, Okumuş TB, Falakaloglu S. Effect of smear layer removal using different chelators on push-out bond strength of bioceramic sealer. *Giornale Italiano di Endodonzia*. 2023;37(1).
 26. Taşan A, Özlek E. Effects of ethylenediaminetetraacetic acid, citric acid, and etidronic acid on root dentin mineral content and bond strength of a bioceramic-based sealer: A scanning electron microscopy-energy dispersive spectroscopy study. *Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects*. 2024;18(1):37.
 27. Paradella TC, Bottino MA. Scanning Electron Microscopy in modern dentistry research. *Brazilian Dental Science*. 2012;15(2):43-8.
 28. Yakut M, Kum M, Şendoğdular Topçu S, Şendoğdular L. Nanoteknolojide Karakterizasyon Teknikleri. *Iksad Publications*; 2022.
 29. Xu L-l, Zhang L, Zhou X-d, Wang R, Deng Y-h, Huang D-m. Residual filling material in dentinal tubules after gutta-percha removal observed with scanning electron microscopy. *Journal of endodontics*. 2012;38(3):293-6.
 30. Carvalho C, Martinelli J, Bauer J, Haapasalo M, Shen Y, Bradaschia-Correa V, et al. Micropush-out dentine bond strength of a new gutta-percha and niobium phosphate glass composite. *International Endodontic Journal*. 2015;48(5):451-9.
 31. Filiz H, Avunduk ATE, Yanardağ EC. Diş hekimliğinde yüzey pürüzlülüğü araştırma yöntemleri: derleme makalesi. *Uşak Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*. 2023;2(2):28-35.

32. Öztekin F, Elmalı E. The effect of irrigation solutions and sterilization process on the surface properties of ProTaper Next and TruNatomy rotary files: An atomic force microscopy study. *International Dental Research*. 2022;12(2):39-46.
33. Crouzier L, Delvallée A, Ducourtieux S, Devoille L, Noircler G, Ulysse C, et al. Development of a new hybrid approach combining AFM and SEM for the nanoparticle dimensional metrology. *Beilstein Journal of Nanotechnology*. 2019;10(1):1523-36.
34. Sönmezateş ME, Yıldız M. Yeni Işıksız Sertleşen Üniversal Bondun Diğer Üniversal Bondlarla Bağlanma Özellikleri Ve Kalitelerinin Makaslama Ve Ftir Yöntemleriyle Karşılaştırılması. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*. 2021;31(4):535-41.
35. Sharma S, Hegde MN, Ramesh S. Fourier Transformation Infrared Spectroscopic Analysis of Enamel Following Different Surface Treatments: An Invitro Study. *Crystals*. 2022;12(11):1619.
36. Orhan EO, Irmak Ö, Taşal E, Tanışlı M. Molecular Interactions on Ethylenediaminetetraacetic Acid After Mixing With Sodium Hypochlorite. *IEEE Transactions on Plasma Science*. 2022;50(6):1859-66.
37. Padmakumar I, Hinduja D, Mujeeb A, Kachenahalli Narasimhaiah R, Kumar Saraswathi A, Mirza MB, et al. Evaluation of effects of various irrigating solutions on chemical structure of root canal dentin using FTIR, SEM, and EDS: an in vitro study. *Journal of Functional Biomaterials*. 2022;13(4):197.

38. Mazinis E, Eliades G, Lambrianides T. An FTIR study of the setting reaction of various endodontic sealers. *Journal of Endodontics*. 2007;33(5):616-20.
39. Donnermeyer D, Ibing M, Bürklein S, Weber I, Reitze MP, Schäfer E. Physico-chemical investigation of endodontic sealers exposed to simulated intracanal heat application: Hydraulic calcium silicate-based sealers. *Materials*. 2021;14(4):728.
40. Antunes T, Janini A, Pelepenko L, Abuna G, Paiva E, Sinhoreti M, et al. Heating stability, physical and chemical analysis of calcium silicate-based endodontic sealers. *International Endodontic Journal*. 2021;54(7):1175-88.
41. Akçe MA, Kadioğlu YK. Raman spektroskopisinin ilkeleri ve mineral tanımlamalarında kullanılması. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*. 2020;9(2):99-115.
42. Otel I. Overall review on recent applications of Raman spectroscopy technique in dentistry. *Quantum Beam Science*. 2023;7(1):5.
43. Chirayil CJ, Abraham J, Mishra RK, George SC, Thomas S. Instrumental techniques for the characterization of nanoparticles. *Thermal and rheological measurement techniques for nanomaterials characterization: Elsevier*; 2017. p. 1-36.
44. Edanami N, Ibn Belal RS, Takenaka S, Yoshiba K, Yoshiba N, Ohkura N, et al. Apatite-forming ability of flowable vs. putty formulations of newly developed bioactive glass-containing endodontic cement. *Applied Sciences*. 2021;11(19):8969.
45. Liu Y, Ma Y, Zhang L, Sun X, Yang J, Li X, et al. Single-cell Raman microspectroscopy-based assessment of three

- intracanal disinfectants' effect on *Enterococcus faecalis*. *Journal of Raman Spectroscopy*. 2022;53(5):902-10.
46. Song X, Li X, Song G, Zhang L, Si Y, Li M, et al. The construction of an inflammation classification model for HDPCs applied in guiding pulpotomy based on single-cell Raman spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2025;326:125233.
47. Bhatia S, Nagendrababu V, Peters OA, Fawzy A, Daood U. Evaluation of usage-induced degradation of different endodontic file systems. *Scientific reports*. 2021;11(1):9027.
48. Marques JA, Falacho RI, Santos JM, Ramos JC, Palma PJ. Effects of endodontic irrigation solutions on structural, chemical, and mechanical properties of coronal dentin: A scoping review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2024;36(4):606-19.
49. Okamoto M, Naito K, Duncan HF, Kinomoto Y, Kuriki N, Miura J, et al. Microstructural evaluation of the mineralized apical barrier induced by a calcium hydroxide paste containing iodoform: A case report. *Journal of Endodontics*. 2024;50(2):243-51.

PATOLOJİK DİŞ REZORPSİYONLARI

Efe Ulaş YENİOĐLU¹

Cemre KOĐ²

1. GİRİŞ

Diş rezorpsiyonları genellikle etiyolojisi tam açıklanamayan, diş dokularında osteoklastik aktivite sonucu sert doku kaybı görünen patolojik bir süreçtir. Kök kanalının iç kısmındaki (odontoblast ve preentin) veya kök yüzeyindeki (presement ve periodontal ligament) kollajen yapıda olmayan organik koruyucu dokuların zarar görmesi, ilgili bölgeye bağlı olarak iç ya da diş kök rezorpsiyonu oluşumunu tetikleyebilir.

Makrofaj koloni uyarıcı faktör (M-CSF), nükleer faktör kappa B reseptör aktivatörü (RANK), nükleer faktör kappa B ligandı (RANKL) ve osteoprotegerin (OPG) sistemleri arasındaki son derece koordine ve karmaşık etkileşim, diş ve kemik rezorpsiyonunun düzenlenmesinde temel rol oynamaktadır (Tay ve ark. 2004; Lin ve ark. 2023) Osteoklastların farklılaşmasını sağlayan temel faktörler olan M-CSF ve RANKL, başlıca osteoblastlar ve osteositler aracılığıyla sentezlenmektedir (Fukushima ve ark., 2003; Harokopakis-Hajishengallis, 2007; Hasegawa ve ark., 2002; Kamat ve ark., 2013). Bununla birlikte, inflamatuvar süreçlerde M-CSF ve RANKL üretiminde osteoblastlar, dental pulpa ve periodontal ligament (PDL) hücrelerinin yanı sıra bağışıklık sistemi hücreleri (B ve T

¹ Arş. Gör., Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti, ORCID: 0009-0003-7242-3993.

² Doç. Dr., Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti, ORCID: 0000-0003-3761-8368.

lenfositler, dendritik hücreler) ve sementoblastlar gibi çeşitli hücreler rol almaktadır (Florencio-Silva ve ark., 2015). Buna karşılık, fizyolojik kemik rezorpsiyonunun baskılanması; osteoblastlar, ameloblastlar, odontoblastlar, sementoblastlar ve dental pulpa hücreleri tarafından salgılanan osteoprotegerin (OPG) aracılığıyla düzenlenmektedir (Uchiyama ve ark., 2009; Zheng ve ark., 2015; Lin ve ark., 2023). OPG, RANKL'ye bağlanan bir yalancı reseptör proteini olarak işlev görmekte ve bu yolla RANKL'nin klastik hücre yüzeyindeki RANK ile etkileşimini inhibe etmektedir (Kong ve ark., 1999).

Osteoklastogenez, özellikle RANK, RANKL ve OPG arasındaki denge tarafından sıkı biçimde kontrol edilmektedir (Wada ve ark., 2006; Rostami ve ark., 2026). Tümör nekroz faktörü (TNF) reseptör süperailesinin bir üyesi olan RANK; osteoklast prekürsörlerinde, olgun osteoklastlarda ve ayrıca dendritik hücreler, makrofajlar ile mİKROglia gibi immün hücrelerde eksprese edilmektedir (Wada ve ark., 2006; Rostami ve ark., 2026). Osteoklast aktivasyonunu belirleyen temel unsur ise RANKL/OPG oranıdır; bu orandaki artış, klastik aktivitedeki artış ile doğrudan ilişkilidir (Rostami ve ark., 2026). Nitekim bu ilişki, eksternal invaziv rezorpsiyonlu dişlerin gingival oluk sıvısında artmış RANKL/OPG oranının gösterilmiş olmasıyla da desteklenmektedir (Malek ve ark., 2025).

Odontoklastlar, osteoklastlara benzer şekilde M-CSF/RANKL/RANK sistemini eksprese etmektedir. Diş dokularını rezorbe eden bu çok çekirdekli hücreler, osteoklastlarla aynı ultrastrüktürel ve fonksiyonel özelliklere sahiptir (Lin ve ark., 2023). Enfeksiyonla ilişkili kök rezorpsiyonuna ait histolojik ve elektron mİKROskobik çalışmalar, odontoklastik hücrelerin, osteoklastlara kıyasla genellikle daha küçük boyutta olduğunu ve enfeksiyona yanıt olarak daha az sayıda çekirdek içerdiğini göstermiştir (Lin ve ark., 2023).

Diş kökünde görülen rezorpsiyon süreçleri literatürde pek çok etkene dayandırılmakla birlikte; travmatik yaralanmalar ile beyazlatma ve ortodontik müdahaleler gibi hekim kaynaklı (iyatrojenik) unsurlar bu süreçte ön plana çıkmaktadır. Pek çok etiyolojik unsur tanımlanmış olsa da belirli rezorpsiyon tiplerinin altında yatan nedenler günümüzde henüz tam olarak aydınlatılamamıştır.

Kök rezorpsiyonları, başlangıç noktalarına göre internal (kök kanal duvarı) ve eksternal (kök dış yüzeyi) olarak ikiye ayrılır. Genellikle patolojik ve geri dönüşümü olmayan karakterde olan bu süreçlerin yönetimi, vakanın tipine ve klinik belirtilere değişiklik gösterir (Patel ve ark., 2022).

2. İTERNAL KÖK REZORPSİYONLARI

2.1. İnternal Enflamatuar ve İnternal Replasman Kök Rezorpsiyonu

2.1.1. Etiyoloji

Literatürde enflamatuar ve replasman olmak üzere iki ana kategoride incelenen internal rezorpsiyon süreçleri; çoğunlukla travma, ortodontik kuvvetler veya pulpal enfeksiyonlar gibi etkenlere dayandırılmaktadır. Öte yandan, henüz sürmemiş dişlerde de bu patolojiye rastlanması, etiyolojik çeşitliliğin daha geniş olabileceğini öne sürmektedir.

2.1.2. Patogenez

İnternal kök rezorpsiyonu (İKR), odontoblast tabakasının ve mineralize olmamış preentin tabakasının hasarlanması sonucu başlar. Bu bariyerlerin bütünlüğünün bozulmasıyla mineralize dentin, pulpa dokusuna maruz kalır; böylece odontoklastların hasar bölgesine g ve kök kanal duvarlarında rezorptif aktivitenin başlaması mümkün hale gelir (Patel ve ark. 2023). Bu rezorptif süreç, özellikle intraalveoler kök kırıklarının

iyileşmesinin erken dönemlerinde, geçici ve kendini sınırlayıcı özellik gösterebilir. Bu durum literatürde internal yüzey rezorpsiyonu veya internal tünel rezorpsiyonu olarak tanımlanmaktadır (Andreasen & Andreasen, 1988) ve bazı olgularda endodontik tedavi gerektirmeksizin spontan olarak iyileşebilir (Krstl ve ark., 2021).

Bununla birlikte, internal kök rezorpsiyonlarının büyük çoğunluğu ilerleyici bir seyir gösterir. Klinik ve histopatolojik özelliklerine göre başlıca iki alt tipe ayrılır: (1) enflamatuvar (enfeksiyonla ilişkili) internal kök rezorpsiyonu ve (2) replasman tipi internal kök rezorpsiyonu. Enflamatuvar tipte süreçte pulpa içi kanama ve bunu izleyen hematoma organizasyonu kritik rol oynar. Oluşan granülasyon dokusunun dentin çeperinde yarattığı mekanik baskı, preentin tabakasının koruyucu bariyer fonksiyonunu yitirmesine yol açar. Bu süreçte, bağ dokusu kökenli farklılaşmamış hücrelerin odontoklastlara dönüşümüyle birlikte aktif rezorptif süreç tetiklenmiş olur. Öte yandan replasman tipi rezorpsiyonlarda, granülasyon dokusuna ek olarak defekt bölgesinde metaplastik kemik benzeri sert doku oluşumu gözlenir.

Enflamatuvar tip internal kök rezorpsiyonunun gelişimi, pulpa dokusunun bölgesel vitalitesine bağlıdır. Bu tabloda, koronal pulpa dokusu genellikle nekroze olurken, rezorptif sürecin sürdürülebilmesi için apikal pulpanın canlılığını koruması gerekir. Apikal bölgede varlığını sürdüren vital pulpa dokusu; vasküler destek, hücresel bileşenler ve mediyatörler sağlayarak odontoklastik aktivitenin devamına olanak tanır. Bu nedenle, dentin rezorpsiyonunun ilerlemesi, apikal pulpa canlılığının korunması ile yakından ilişkilidir (Patel ve ark.,2007; Makedonas ve ark.,2012; Lopatiene & Dumbraivaite, 2008).

Replasman tipi rezorpsiyonun histopatolojik incelemesi, yıkıma uğrayan dentin dokusunun lezyon periferinde metaplastik

bir sert dokuya dönüştüğünü göstermektedir. Hem doku kaybının hem de eř zamanlı onarımın bir göstergesi olan bu yapı, morfolojik açıdan kemik veya sement benzeri özellikler sergiler (Santos ve ark.,2018). Söz konusu oluşum fizyolojik doku standartlarına uymadığı için literatürde 'metaplastik doku' tanımıyla yer bulmaktadır (Mavridou ve ark.,2017).

2.1.3. Klinik zellikler

Klinik görünümleri pulpanın sağlık durumuna göre değişkenlik gösteren progresif İKR alt tipleri, sıklıkla benzer semptomları sergiler. Bu patoloji çoğunlukla asemptomatik seyreder; öyle ki, yıkıma uğrayan dokuya rağmen dişler pulpa canlılık testlerine fizyolojik sınırlar içinde yanıt verebilir. Klinik tabloya akut pulpitis veya apikal periodontitisin eşlik etmesi durumunda ilgili patolojilerle ilişkili semptomlar gözlenmektedir (Patel ve ark., 2022).

Rezorptif sürecin kron bölgesini tamamen etkilediği vakalarda, mine tabakasının altından yansıyan vaskülarize granülasyon dokusu nedeniyle diş yüzeyinde patognomonik bir pembe renk değişimi (pink spot) izlenebilir. Bu klinik görünüm, rezorpsiyon kavitesini dolduran granülasyon dokusunun incelmiş kron yapısından görsel olarak dışarıya yansımasyyla karakterizedir (Heboyan ve ark., 2018; Silveira ve ark., 2009; Patel ve ark., 2010).

2.1.4. Radyografik zellikler

Kök kanalı içerisinde, başlangıç evresinde kanalın bütünlüğü bozulmamış gibi görünse de dokuları birbirinden ayıran bir rezorpsiyon sahası saptanabilir (Andreasen & Andreasen, 1988).

İKR, radyografik olarak genellikle düzenli sınırlı, dairesel veya eliptik radyolüsent alanlar şeklinde izlenir. Literatürde bu standart tanımlama yaygın olsa da pratikte bu tipik görünüm

farklılık gösterebilmektedir. Teşhis aşamasında, lezyonun konumunu tayin etmek amacıyla farklı açılardan çekilen radyografiler özellikle karmaşık kök anatomisine sahip çok köklü dişlerde hatalı tanı konulma riskini taşıyabilir (Santos ve ark., 2018; Bhuva ve ark., 2011). İKR, erken dönemdeki genişleme/büyüme eğilimine ilerleyen süreçte rezorpsiyonun meydana geldiği alanda distrofik kalsifikasyon bulguları eklenebilir (Heithersay ve ark., 1999).

İKR olgularının değerlendirilmesinde konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT), lezyonun karakteristiğini belirlemede kritik bir rol oynamaktadır. Literatürde (Bhuva ve ark., 2011; Lima ve ark., 2016; Patel ve ark., 2022) vurgulandığı üzere bu görüntüleme yöntemi; İKR'nin eksternal kök rezorpsiyonundan (EKR) ayırıcı tanısının yapılmasında ve kök kanal duvarında oluşabilecek olası perforasyonların saptanmasında yüksek doğruluk sağlar. Bu avantajları nedeniyle, İKR vakalarının hem teşhis sürecinde hem de stratejik tedavi planlamasında KIBT kullanımı vaka özelinde tavsiye edilebilmektedir (Bhuva ve ark., 2011; Lima ve ark., 2016; Patel ve ark., 2022).

2.1.5. Tedavi

Geçici internal kök rezorpsiyonları, olası komplikasyonların erken saptanmasını sağlamak amacıyla yıllık klinik (pulpa duyarlılık testleri vb.) ve radyografik (periapikal radyografiler ve/veya KIBT) takip gerektirir (Patel ve ark. 2023).

Enflamatuvar tip internal kök rezorpsiyonunda tedavinin temel amacı, rezorptif sürecin sürdürülmesinden sorumlu canlı pulpa dokusu ve granülasyon dokusunun ortadan kaldırılmasıdır. Endodontik müdahale ile rezorpsiyon boşluğundaki granülasyon dokusunun debridmanı, klastik hücrelerin yaşamını sürdürdürebilmesi için gerekli biyolojik ortamı ortadan kaldırarak rezorpsiyonun ilerlemesini durdurur.

gerçekleştirilemediği olgularda, cerrahi yaklaşım tedavi planlamasında alternatif bir seğenek olarak değerlendirilmelidir. Öte yandan, internal kök rezorpsiyonu tedavisinde rejeneratif endodontik prosedürlerin (REP) etkinliğine ilişkin mevcut bilimsel kanıtlar sınırlıdır. Bu nedenle, söz konusu yaklaşımın endikasyonlarını, başarısını ve uzun dönem sonuçlarını ortaya koyacak yüksek kanıt düzeyine sahip klinik çalışmalara gereksinim vardır (Patel ve ark., 2023).

3. EKSTERNAL KÖK REZORPSİYONLARI

3.1. Eksternal Yüzey Rezorpsiyonu (Tamir ile İlişkili Yüzey Rezorpsiyonu)

3.1.1. Etiyoloji

Periodonsiyum üzerinde oluşan travmatik etkiler, kök yüzeyindeki sement tabakasında ve destek periodontal dokularda hasara neden olarak yüzey rezorpsiyonu sürecini başlatabilir (Andreasen, 1966b). Bu süreç; şiddetli dental travmaların yanı sıra, dişlere uygulanan aşırı ortodontik kuvvetler, gömülü dişlerin komşu dokular üzerinde oluşturduğu basınç, kist veya apikal granülomların neden olduğu ekspansif etkiler ve ektopik diş sürmesine bağlı kronik iritasyonlar gibi çeşitli lokal etkenlerle tetiklenebilir.

Tamir ile ilişkili yüzey rezorpsiyonu, periodontal ligamentte gelişen akut veya kronik travmatik olaylara karşı organizmanın rejeneratif bir yanıtı olarak değerlendirilir ve esas olarak kök yüzeyine komşu sert doku alanlarını etkiler. Bu tabloda rezorpsiyon genellikle sınırlıdır ve etiyolojik faktörün ortadan kaldırılmasını takiben tamir süreci baskın hale gelir. Bu patolojik durumun en belirgin ayırt edici özelliği, travmatik uyarının ortadan kalkmasıyla birlikte dokunun spontan iyileşme eğilimi göstermesidir (Rotstein & Ingle, 2019).

3.1.2. Patogenez

Periodontal ligament vaskularizasyonu üzerinde mekanik baskı oluşturan etkenler (dental travmalar, aşırı ortodontik kuvvetler, gömülü dişler ve kistik/tümöral oluşumlar), ilgili bölgede kompresyon ve buna bağlı lokal iskemi/hipoksi gelişimine yol açabilir. Bu iskemik süreç, kök yüzeyini koruyan sementoblast tabakasının ve presegmentumun bütünlüğünü bozarak mineralize kök yüzeyinin açığa çıkmasına neden olur. Koruyucu bariyerin kaybı sonrasında bölgeye klastik hücrelerin g kolaylaşır ve kök sert dokularında yıkımla karakterize rezorptif süreç tetiklenir (Colak ve ark., 2021; Feller ve ark., 2016; Kimura ve ark., 2003; Patel ve ark. 2023).

3.1.3. Klinik zellikler

Eksternal yüzey rezorpsiyonu, klinik pratikte çoğu zaman semptomsuz seyir gösterir. Bunun temel nedeni, olguların büyük bölümünde belirgin bir endodontik patolojinin eşlik etmemesidir (Sondeijker ve ark., 2020).

3.1.4. Radyografik zellikleri

Eksternal yüzey rezorpsiyonunun konvansiyonel radyografik yöntemlerle saptanması, çoğunlukla lezyonun belirli bir boyuta ulaşmış olması durumunda mümkündür. Ortodontik kuvvetlere bağlı gelişen eksternal yüzey rezorpsiyonunda, kök apekslerinde düzleşme veya küntleşme gözlenebilir. Etkilenen dişler, yüksek ortodontik kuvvetlere maruz kalmayan komşu dişlere kıyasla nispeten daha kısa görünebilir (Patel ve ark., 2023). Özellikle kökün vestibül ve lingual/palatinal yüzeylerinde lokalize rezorptif defektler, iki boyutlu görüntüleme tekniklerinin süperpozisyon ve çözünürlük sınırlılıkları nedeniyle kolaylıkla gözden kaçabilir. Bu nedenle erken dönem veya sınırlı yüzey rezorpsiyonlarının radyografik tanısı güç olabilir. KIBT, eksternal yüzey rezorpsiyonunun saptanma oranını artırabilir ve lezyonun

yaygınlığı ile karakterinin daha doğru değerlendirilmesini sağlayabilir (Sönmez ve ark., 2018).

3.1.5. Tedavi

Eksternal yüzey rezorpsiyonu (EYR) vakalarında temel terapötik strateji, radiküler yıkımı tetikleyen patolojik mekanik baskının kontrol altına alınması ve ortadan kaldırılması üzerine kurgulanmalıdır (Patel ve ark., 2023).

3.2. Eksternal Servikal (İnvaziv) Rezorpsiyon

3.2.1. Etiyoloji

Eksternal servikal rezorpsiyonun (ESR) etiyolojisi tam olarak aydınlatılamamıştır. Ortodontik tedavi ve travmatik dental yaralanma öyküsü en sık ilişkili faktörler olarak bildirilmekle birlikte, hipoksi de yakın dönemde katkıda bulunan bir etken olarak önerilmiştir (Heithersay, 1999; Mavridou ve ark., 2017, 2019; Patel ve ark. 2023). Önceki bazı çalışmalarda diyabet ve hipertansiyon gibi sistemik faktörlerin ESR açısından potansiyel predispozan etkenler olarak değerlendirilmiş (Huang ve ark., 2023; Irinakis ve ark., 2020) olsa da sistemik hastalıklar ile ESR arasında özgül bir bağlantı henüz ortaya konulamamıştır (Patel ve ark., 2025)

3.2.2. Patogenez

Eksternal servikal rezorpsiyonun kökenindeki faktörler henüz tam olarak aydınlatılamamış olsa da patogenezde sementoblast tabakasının bütünlüğünün bozulması temel bir hazırlayıcı etken olarak kabul edilmektedir. Bu yapısal kusura, kemik metabolizmasının düzenlenmesinde kritik rol oynayan RANK-RANKL-OPG sinyal yolağındaki dengesizliğin eşlik etmesi, rezorptif sürecin başlamasında kilit mekanizma olarak değerlendirilmektedir.

Eksternal servikal rezorpsiyonun patolojik ilerleyişi genel olarak başlangıç, rezorptif ve onarım fazı olmak üzere üç temel

evrede ele alınabilir (Mavridou ve ark., 2016; Hauben ve ark., 2016; Patel ve ark. 2023). Başlangıç fazında, periodontal dokulardan kaynaklanan klastik hücreler sement yüzeyindeki yapısal defektler yoluyla kök yüzeyine ulaşır. Bunu izleyen rezorpsiyon fazında, kök yüzeyinde fibrovasküler özellikte rezorptif doku gelişir ve sert dokuda ilerleyici yıkım meydana gelir. Sürecin bazı alanlarında ise lezyon dokusunun kısmen mineralize olması ve fibro-osseöz/fibro-mineralize doku özellikleri kazanmasıyla onarım fazına ait bulgular izlenebilir. Klinik açıdan küçük hacimli bazı lezyonlar sınırlı kalma veya spontan tamir eğilimi gösterebilse de, ESR olgularının büyük çoğunluğu kendini sınırlayan bir karakterde değildir. Çoğu vakada ilerleyici sert doku kaybı ile seyreder (Mavridou ve ark., 2016; Heithersay ve ark., 1999; Makedonas ve ark., 2012)

3.2.3. Klinik Özellikler

Erken evrelerinde çoğu olguda semptom bulunmaması ve pulpa–periodontal ligament kompleksinin genellikle rezorpsiyonun daha ileri aşamalarında etkilenmesi, tanı sürecini güçleştirmektedir. Bu nedenle ESR, klinik pratikte sıklıkla servikal çürük lezyonları ile karıştırılabilmektedir. Ayırıcı tanıda dental sond ile yapılan dikkatli klinik muayene önemli bir yer tutar. ESR lezyonlarında sondlama sırasında genellikle sert ve pürüzlü/mineralize bir yüzey hissi alınırken, subgingival çürüklerde daha tipik olan yumuşaklık ve yapışkanlık hissi çoğunlukla izlenmez. Ayrıca lezyon dokusunun zengin vaskülarizasyonu nedeniyle, sondlama esnasında kolay ve belirgin kanama görülmesi ESR tanısını destekleyen klinik bir bulgudur. Bununla birlikte, başlangıç dönemindeki lezyonlar klinik muayenede fark edilmeyebilir. Bu nedenle kesin tanının konulmasında radyografik değerlendirme temel öneme sahiptir ve uygun görüntüleme yöntemleri ile lezyonun lokalizasyonu, yaygınlığı ve komşu yapılarla ilişkisi ayrıntılı olarak analiz

edilmelidir. (Mavridou ve ark. 2017; Patel ve ark., 2009; Hartsfield ve ark., 2009)

3.2.4. Radyografik Özellikleri

Eksternal servikal rezorpsiyonun (ESR) periapikal radyografilerdeki görünümü, lezyonun lokalizasyonuna, boyutuna ve yayılım derecesine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Erken evrelerde servikal bölgede hafif, düzensiz sınırlı bir radyolüseni şeklinde izlenebilen lezyon, koronal ve radiküler dokulara doğru ilerledikçe kök kanal konturu üzerinde asimetrik ve heterojen bir görünüm sergileyebilir. İleri olgularda, rezorptif dokuyla komşu sağlam dentin/predentin alanlarını ayıran nispeten radyopak bir hat izlenmesi, ayırıcı tanıda yardımcı bir bulgu olarak değerlendirilebilir. Bununla birlikte, iki boyutlu radyografilerin süperpozisyon ve geometrik distorsiyon sınırlılıkları nedeniyle, lezyonun gerçek sınırlarının ve kök kanalı ile ilişkisinin yalnızca periapikal radyografi ile güvenilir biçimde değerlendirilmesi her zaman mümkün değildir (Sönmez ve ark. 2018; European Society of Endodontology 2018). Bu nedenle, lezyonun üç boyutlu yayılımının, esas giriş noktasının ve kök kanal sistemi/perforasyon ilişkilerinin doğru biçimde belirlenmesinde KIBT önemli avantaj sağlar. KIBT değerlendirmesi, tanısal doğruluğu artırmasının yanı sıra tedavi planlamasının (cerrahi yaklaşım, restoratif sınırlar, endodontik gereksinim) daha öngörülebilir şekilde yapılmasına katkıda bulunur (Patel ve ark., 2019; Patel ve ark., 2023).

3.2.5. Tedavi

Tedavisinde temel amaç; rezorptif dokunun tamamen uzaklaştırılması, lezyonun ilerlemesinin durdurulması ve uygun bir restorasyonla defektin sızdırmaz şekilde rehabilite edilmesidir. Tedavi yaklaşımı, lezyonun boyutu, lokalizasyonu, kök kanal sistemi ile ilişkisi ve restoratif erişilebilirliğine göre belirlenir (Patel ve ark., 2023).

Literatürde bu patolojinin yönetiminde başlıca iki yaklaşım tanımlanmaktadır. Yaygın olarak kullanılan yaklaşımda, lezyona erişim sağlamak amacıyla cerrahi periodontal flep kaldırılır; rezorptif/fibrovasküler granülasyon dokusu dikkatli şekilde kürete edilir ve oluşan defekt, klinik koşullara uygun olarak kompozit rezin, cam iyonomer siman veya uygun diğeri restoratif materyaller ile restore edilir.

Alternatif bir yaklaşımda ise, rezorptif dokunun uzaklaştırılması amacıyla yüksek konsantrasyonlu trikloroasetik asit (TCA) topikal olarak uygulanabilir. TCA uygulaması ile lezyon dokusunda koagülasyon nekrozu oluşturulmasının ardından cerrahi küretaj gerçekleştirilir. Kök kanal sistemi ile iletişim bulunan veya pulpal tutulumun eşlik ettiği olgularda endodontik tedavi de tedavi planına dahil edilir; ardından defektin nihai restorasyonu tamamlanır. Tedavi başarısı; lezyonun tam debridmanı, uygun materyal seçimi, periodontal dokularla uyumlu restoratif kontur sağlanması ve olgunun düzenli klinik-radyografik takibi ile yakından ilişkilidir (Rotstein & Ingle, 2019).

3.3. Eksternal Enflamatuvar (Enfeksiyonla İlişkili) Rezorpsiyon

3.3.1. Etiyoloji

Eksternal enflamatuvar rezorpsiyonun (EER) agresif seyri, temel olarak kök dış yüzeyini koruyan presegmentum tabakasının bütünlüğünün bozulması ve buna eşlik eden enfekte/nekrotik kök kanal sisteminden kaynaklanan mikrobiyal uyarı ile ilişkilidir. Koruyucu yüzey bariyerinin kaybı, mineralize kök yüzeyinin klastik hücrelere açık hâle gelmesine zemin hazırlar. Bu süreç özellikle yüksek şiddetli dental travmalar sonrasında daha sık görülmekte olup, rezorptif lezyonların başlangıçta sıklıkla kökün vestibül yüzeyinde lokalize olduğu bildirilmektedir (Krstl ve

ark., 2021; Trope ve ark., 2002; Makedonas ve ark., 2012; Santos ve ark., 2018).

3.3.2. Patogenez

Rezorptif süreç sementi aşarak dentine ilerlediğinde, dentin tübülleri enfekte kök kanal sistemi ile periodontal dokular arasında bir iletişim yolu hâline gelebilir. Bu aşamada, nekrotik/enfekte pulpa boşluğundan kaynaklanan mikrobiyal toksinler, bakteriyel ürünler ve enflamatuar mediyatörler dentin tübülleri aracılığıyla periodontal ligamente diffüze olur. Buna bağlı olarak bölgede enflamatuar yanıt ve klastik hücre aktivitesi sürdürülür; süreç yalnızca kök yüzeyi ile sınırlı kalmayıp komşu periodontal dokular ve alveolar kemikte de yıkıma neden olabilir.

Patolojik süreç, enfeksiyon kaynağı ortadan kaldırılmadığı sürece progresyon gösterme eğilimindedir. Bu nedenle EER'nin durdurulmasında temel yaklaşım, endodontik tedavi ile kök kanal sisteminin etkin dezenfeksiyonu ve intraradiküler enfeksiyonun kontrol altına alınmasıdır. Kanal içeriğindeki mikrobiyal yükün azaltılması ve dentin tübülleri diffüze olan iritanların elimine edilmesi, rezorptif aktivitenin sonlandırılmasında kritik öneme sahiptir (Rotstein & Ingle, 2019).

3.3.3. Klinik Özellikler

Enfeksiyon kaynaklı eksternal enflamatuar rezorpsiyon (EER) olguları çoğunlukla asemptomatik seyir gösterdiğinden, tanı süreci yalnızca hastanın subjektif şikayetlerine veya sınırlı klinik bulgulara dayandırılmamalıdır. Bu nedenle özellikle travma öyküsü bulunan dişlerde, düzenli klinik ve radyografik takip büyük önem taşır. Rezorptif sürecin pulpa nekrozu ile ilişkili olduğu olgularda, dişte gelişen renk değişikliği hastaların başvuru nedenleri arasında yer alabilir ve çoğu zaman estetik kaygılarla fark edilir. Hastalığın ilerlediği durumlarda ortaya çıkan klinik tablo; pulpa duyarlılık testlerine negatif yanıt,

palpasyon ve perküsyon duyarlılığı gibi bulgularla karakterizedir ve bu yönüyle periapikal periodontitis ile benzerlik gösterebilir (Trope ve ark., 1995).

3.3.4. Radyografik Özellikler

Enfeksiyon kaynaklı eksternal enflamatuvar rezorpsiyonun radyografik görünümünde, kök yapısında kısılma ve özellikle apikal bölgede düzensiz konturlar izlenebilir; bu bulgulara sıklıkla periapikal radyolüseni eşlik eder. Orta ve yüksek şiddetli dental travmaların sekeli olarak gelişen agresif EER olgularında, kök yüzeyi ve komşu alveolar kemiği birlikte etkileyen krater benzeri radyolüsent alanlar, lamina dura sürekliliğinde bozulma/kayıp ve periodontal aralıkta düzensizlik tipik radyografik bulgular arasında yer alır (Andreasen & Hjørting-Hansen, 1966a, 1966b).

İleri evrelerde rezorptif sürecin ilerlemesine bağlı olarak lezyonun kök kanal sistemine ulaştığı ve perforasyon geliştiği görülebilir. Ancak iki boyutlu konvansiyonel radyografiler, lezyonun gerçek üç boyutlu yayılımını ve perforasyonun lokalizasyonunu her zaman güvenilir biçimde ortaya koyamaz (Durack ve ark., 2011).

3.3.5. Tedavi

Enfeksiyon kaynaklı eksternal enflamatuvar rezorpsiyonun tedavisindeki temel amaç, rezorptif süreci sürdüren intradiküler enfeksiyonun ortadan kaldırılmasıdır. Bu nedenle tedavi yaklaşımı, öncelikle kök kanal sistemi içerisindeki mikrobiyolojik yükün eliminasyonuna ve enfeksiyon kaynağının kontrol altına alınmasına odaklanır. Klinik karar verme sürecinde; rezorpsiyonun yaygınlığı, kök yapısının korunma düzeyi, periodontal destek durumu ve dişin restoratif/protetik değeri birlikte değerlendirilmelidir.

İlgili dişin ağızda kalması yönünde karar verilen olgularda temel tedavi seçeneği, kök kanal tedavisidir. Endodontik tedavi ile kök kanal sisteminin etkin dezenfeksiyonu sağlanarak dentin tübülleri aracılığıyla periodontal dokulara diffüze olan mİKRobiyal İKRitanların azaltılması hedeflenir. Buna karşılık, ileri derecede yapısal yıkımın bulunduğu, restoratif olarak sürdürülebilirliğin olmadığı veya periodontal desteğin ciddi biçimde kaybedildiği olgularda “çekim” kaçınılmaz bir tedavi seçeneği hâline gelebilir.

Etkin bir endodontik dezenfeksiyon sonrasında, uygun biyolojik koşulların varlığında periodontal dokularda iyileşme ve kısmi rejenerasyon gözlenebilir. Ancak özellikle yaygın kök yüzeyi hasarı ve ileri periodontal/alveoler yıkımın eşlik ettiği olgularda, iyileşme sürecinin eksternal replasman rezorpsiyonu (ankiloz) yönünde ilerleme riski yüksektir. Bu nedenle EER tedavisi sonrasında hastaların uzun dönem klinik ve radyografik takip ile izlenmesi büyük önem taşır (Patel ve ark.2023)

3.4. Eksternal Ankiloz İlişkili Rezorpsiyon (Replasman Rezorpsiyonu)

3.4.1. Etiyoloji

Eksternal replasman rezorpsiyonu (ERR), çoğunlukla periodontal ligamentin şiddetli travma sonrası yaygın hasar görmesiyle ilişkilidir (Soares ve ark., 2015; Souza ve ark., 2018).

3.4.2. Patogenez

PDL hücrelerinde gelişen yaygın nekroz ve doku kaybını takiben, kök yüzeyindeki koruyucu bariyer ortadan kalkar ve klastik hücreler sement ve dentini rezorbe etmeye başlar. Eksternal replasman rezorpsiyonunun ayırt edici özelliği, rezorbe olan kök yüzeyinin zamanla alveolar kemik ile yer değiştirmesidir. Başka bir deyişle, rezorptif defektler iyileşme sürecinde osteoblastik aktivite ile kemik dokusu tarafından

doldurulur ve diş kökü ile alveolar kemik arasında ankiloz gelişir (Patel and Pitt Ford, 2007)

3.4.3. Klinik zellikler

Ankiloz ile ilişkili eksternal replasman rezorpsiyonu bulunan dişler, alveol içerisinde hareketsiz veya belirgin olarak azalmış mobilite gösterir (Andersson ve ark., 1984). Klinik muayenede en karakteristik bulgulardan biri, perküsyon sırasında alınan yüksek tonda, metalik (“ankilotik”) sestir. Pediatrik ve adolesan hastalarda, devam eden alveoler büyüme ve komşu dişlerin erüpsiyonu nedeniyle ankilozlu diş zamanla infrapozisyonda kalabilir (Cohenca ve ark., 2007; Rotstein & Ingle 2019).

3.4.4. Radyografik zellikler

Eksternal replasman rezorpsiyonunun (ERR) tipik radyografik bulguları arasında, ilgili bölgede periodontal aralık ve lamina dura sürekliliğinin kaybı/silinmesi ile kök yüzeyinde düzensiz, asimetrik rezorptif alanlar yer alır. İlerleyen olgularda kök konturunda silinme ve kök yapısının alveolar kemikle bütünleşmiş görünümü dikkat çeker. (Andreasen & Hjørting-Hansen, 1966a)

3.4.5. Tedavi

Eksternal replasman rezorpsiyonunda tedavi yaklaşımı; hastanın yaşı, büyüme-gelişim durumu, infrapozisyon derecesi, estetik gereksinim, oklüzal etkilenim ve alveoler kemik korunumu gibi faktörlere göre bireyselleştirilmelidir. Güncel klinik yaklaşımlarda değerlendirilebilecek başlıca seçenekler şunlardır: (1) Dekoronasyon (zellikle büyüme döneminde alveoler kret hacmini korumak amacıyla); (2) Lksasyon (seçilmiş ve sınırlı ankiloz alanlarında, ankilozun kırılmasının hedeflendiği olgularda); (3) Ekstraksiyon + kret ogmentasyonu (ileride implant planlamasına hazırlık amacıyla); (4)

Ekstraksiyon + protetik köprü rehabilitasyonu; (5) Distraksiyon osteogenezi; (6) Protetik uzatma/restoratif kamufraj (özellikle infrapozisyonun sınırlı olduğu olgularda geçici/ara çözüm olarak); (7) Ototransplantasyon (uygun olgularda, örn. premolar transplantasyonu) (Rotstein & Ingle, 2019).

3.5. Geçici Apikal Yıkım (Transient Apical Breakdown)

3.5.1. Etiyoloji

Geçici apikal yıkım, özellikle lüksasyon yaralanmalarını takiben kök ucu ve komşu alveoler dokularda gözlenen, mikrobiyal kökenli olmayan, geçici ve çoğu olguda kendini sınırlayan bir rezorptif/onarım fenomenidir. Travma sonrası gelişen iyileşme sürecinin bir parçası olarak değerlendirilir ve pulpa nekrozu ile ilişkili enfeksiyöz rezorpsiyonlardan ayırt edilmelidir.

3.5.2. Patogenez

Patogenezi tam olarak aydınlatılamamış olmakla birlikte, literatürde bu tablo genellikle orta şiddette dental travmalar sonrasında ortaya çıkan bir reparatif yanıt olarak tanımlanmaktadır. Bu yaklaşıma göre, travmaya bağlı hasar gören apikal periodontal ve periradiküler dokuların geçici olarak rezorptif/fagositik mekanizmalarla uzaklaştırılması, ardından ise bu alanların zaman içinde organize ve sağlıklı dokular ile yeniden yapılanması söz konusudur.

3.5.3. Klinik Özellikleri

Klinik muayenede geçici renk değişikliği ve pulpa duyarlılık testlerine karşı gecikmiş, zayıf veya geçici olarak negatif yanıt saptanabilir. Bu bulgular, tek başına pulpa nekrozu göstergesi olarak yorumlanmamalıdır. Bazı olgularda travma sonrası gelişen tersiyer dentin oluşumu ve buna bağlı kanal obliterasyonu nedeniyle canlılık testlerine verilen yanıt uzun

dönemde de azalabilir veya alınamayabilir. Bu nedenle, termal/elektriksel test sonuçları klinik ve radyografik bulgularla birlikte değerlendirilmelidir (Patel ve ark., 2023)

3.5.4. Radyografik Özellikleri

Erken dönem radyografik bulguları arasında, ilgili dişin apikal bölgesinde periodontal ligament aralığında genişleme ve lamina dura konturunda silinme/bulanıklaşma yer alabilir. Uygun olgularda yaklaşık 1 yıl içinde periodontal yapıların ve lamina dura görünümünün normale döndüğü izlenebilir. Bununla birlikte iyileşme süresi travmanın tipi ve şiddetine göre değişkenlik gösterebilir (Patel & Pitt Ford, 2007).

3.5.5. Tedavi

Temel olarak pulpa nekrozu gelişme riskinin doğru analiz edilmesine dayanmaktadır. Ancak, bu fenomenin altında yatan patofizyolojik mekanizmalar ile spesifik klinik ve radyolojik belirteçleri üzerindeki veriler henüz tam olgunluğa erişmemiştir (Patel ve ark., 2023)

KAYNAKÇA

- Andreasen, J. O., & Andreasen, F. M. (1988). Essentials of traumatic injuries to the teeth. Copenhagen, Denmark: Munksgaard.
- Andreasen, J. O., & Hjørting-Hansen, E. (1966a). Replantation of teeth. I. Radiographic and clinical study of 110 human teeth replanted after accidental loss. *Acta Odontologica Scandinavica*, 24(3), 263–286.
- Andreasen, J. O., & Hjørting-Hansen, E. (1966b). Replantation of teeth. II. Histological study of 22 replanted anterior teeth in humans. *Acta Odontologica Scandinavica*, 24(3), 287–306.
- Bhuva, B., Barnes, J. J., & Patel, S. (2011). The use of limited cone beam computed tomography in the diagnosis and management of a case of perforating internal root resorption. *International Endodontic Journal*, 44(8), 777–786.
- Durack, C., & Patel, S. (2016). Root resorption. In S. Patel, S. Harvey, H. Shemesh, & C. Durack (Eds.), *Cone beam computed tomography in endodontics* (1st ed., pp. 119–131). Berlin, Germany: Quintessence Publishing Co. Ltd.
- Fukushima, H., Kajiya, H., Takada, K., Teramachi, J., & Okabe, K. (2003). Expression of receptor activator of NF- κ B ligand and osteoprotegerin in periodontitis. *Journal of Dental Research*, 82(10), 799-804.
- Harokopakis-Hajishengallis, A. (2007). Physiologic and pathologic resorption of viable teeth. *Annals of the Royal Australasian College of Dental Surgeons*, 19, 19–23.
- Hartsfield, J. K., Jr. (2009). Pathway in external apical root resorption associated with orthodontia. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 12(3), 236–242.

- Hasegawa, T., Yoshimura, Y., Kikuri, T., Izumi, N., Gaun, S., Ohnishi, T., ... & Matsuura, M. (2002). Expression of receptor activator of NF-kappaB ligand and osteoprotegerin in culture of human periodontal ligament cells. *Journal of Periodontology*, 73(12), 1402-1409.
- Heboyan, A. G., Avetisyan, A. A., & Margaryan, M. M. (2018). Clinical case of a rarely diagnosed tooth root internal resorption. *The New Armenian Medical Journal*, 12(3), 87–92.
- Heithersay, G. S. (1999). Invasive cervical resorption following trauma. *Australian Endodontic Journal*, 25(2), 79–85.
- Huang, J., Walsh, R. M., Witherspoon, D. E., Khalighinejad, N., Tam, E. C., Jalali, P., ... & Azim, A. A. (2023). The prevalence, characteristics, and risk factors of external cervical resorption: A retrospective practice-based study. *Clinical Oral Investigations*, 27(9), 5595–5604.
- Irinakis, E., Aleksejuniene, J., Shen, Y., & Haapasalo, M. (2020). External cervical resorption: A retrospective case-control study. *Journal of Endodontics*, 46(10), 1420–1427.
- Kamat, S., Sarda, R., Mallick, A., Varma, S., Gunjekar, T., & Deshpande, A. (2013). Role of receptor activator of NF-κB ligand and osteoprotegerin in the pathogenesis of chronic apical periodontitis. *Journal of Endodontics*, 39(12), 1522–1526.
- Krastl, G., Weiger, R., Filippi, A., Morrow, H., Gluskin, M., Tjäderhane, L., & Patel, S. (2021). Endodontic management of traumatized permanent teeth: A comprehensive review. *International Endodontic Journal*, 54(8), 1221–1245.
- Lima, T. F., Gamba, T. O., Zaia, A. A., & Soares, A. J. (2016). Evaluation of cone beam computed tomography and

- periapical radiography in the diagnosis of root resorption. *Australian Dental Journal*, 61(4), 425–431.
- Lin, S., Marvidou, A. M., Novak, R., Moreinos, D., Abbott, P. V., & Rotstein, I. (2023). Pathogenesis of non-infection related inflammatory root resorption in permanent teeth: A narrative review. *International Endodontic Journal*, 56(12), 1432–1445.
- Lopatiene, K., & Dumbravaite, A. (2008). Risk factors of root resorption after orthodontic treatment. *Stomatologija, Baltic Dental and Maxillofacial Journal*, 10(3), 89–95.
- Makedonas, D., Lund, H., Grondahl, K., & Hansen, K. (2012). Root resorption diagnosed with cone beam computed tomography after 6 months of orthodontic treatment with fixed appliance and the relation to risk factors. *Angle Orthodontist*, 82(2), 196–201.
- Malek, M., Steff, L., Vakil, N., ve ark. (2025). Biological markers in the gingival crevicular fluid associated with external invasive resorption: A split-mouth cross-sectional study. *Journal of Endodontics*, 51(2), 150–156.
- Mavridou, A. M., Hauben, E., Wevers, M., Schepers, E., Bergmans, L., & Lambrechts, P. (2016). Understanding external cervical resorption in vital teeth. *Journal of Endodontics*, 42(12), 1737–1751.
- Patel, S., & Pitt Ford, T. (2007). Is the resorption external or internal? *Dental Update*, 34(4), 218–229.
- Patel, S., Abella, F., Patel, K., Bakhsh, A., Lambrechts, P., & Al-Nuaimi, N. (2025). Potential predisposing features of external cervical resorption: An observational study. *International Endodontic Journal*, 58(2), 273–283.
- Patel, S., Brown, J., Semper, M., Abella, F., & Mannocci, F. (2019). *European Society of Endodontology position*

- statement: Use of cone beam computed tomography in Endodontics. *International Endodontic Journal*, 52(12), 1675–1678.
- Patel, S., Kanagasingham, S., & Pitt Ford, T. (2009). External cervical resorption: A review. *Journal of Endodontics*, 35(5), 616–625.
- Patel, S., Krastl, G., Weiger, R., Lambrechts, P., Tjäderhane, L., Gambarini, G., & Teng, P. H. (2023). European Society of Endodontology position statement on root resorption. *International Endodontic Journal*, 56(1), 5–8.
- Patel, S., Lambrechts, P., Shemesh, H., & Mavridou, A. (2018). European Society of Endodontology position statement: External Cervical Resorption. *International Endodontic Journal*, 51(12), 1323–1326.
- Patel, S., Ricucci, D., Durak, C., & Tay, F. (2010). Internal root resorption: A review. *Journal of Endodontics*, 36(7), 1107–1121.
- Patel, S., ve ark. (2022). External cervical resorption: A review of the phenotype, and a proposed model of its pathogenesis. *International Endodontic Journal*, 55(3), 226-241.
- Rostami, G., Hadagalu Revana Siddappa, R., & Kishen, A. (2026). Signaling pathways in root resorption: Linking inflammation, odontoclastogenesis, and tissue remodeling. *Journal of Endodontics*, 52(1), 47–61.
- Rotstein, I., & Ingle, J. I. (2019). *Ingle's Endodontics (7th ed.)*. Raleigh, NC: PMP.
- Santos, J. B. D., Castillo, J. F. M., Nishiyama, C. K., ve ark. (2018). External root resorption: Diagnosis and treatment. Clinical case report. *Journal of Dental Health, Oral Disorders & Therapy*, 9(2), 160–164.

- Silveira, F. F., Nunes, E., Soares, J. A., Ferreira, C. L., & Rotstein, I. (2009). Double 'pink tooth' associated with extensive internal root resorption after orthodontic treatment: A case report. *Dental Traumatology*, 25(3), e43–e47.
- Sondeijker, C. F. W., Lamberts, A. A., Beckmann, S. H., Kuitert, R. B., van Westing, K., Persoon, S., ... & Kuijpers-Jagtman, A. M. (2020). Development of a clinical practice guideline for orthodontically induced external apical root resorption. *European Journal of Orthodontics*, 42(2), 115–124.
- Sönmez, G., Koç, C., & Kamburoğlu, K. (2018). Accuracy of linear and volumetric measurements of artificial ERR cavities by using CBCT images obtained at 4 different voxel sizes and measured by using 4 different software: An ex vivo research. *Dentomaxillofacial Radiology*, 47(8), 20170325.
- Souares, A. J., Souza, G. A., Pereira, A. C., Vargas-Neto, J., Zaia, A. A., & Silva, E. J. (2015). Frequency of root resorption following trauma to permanent teeth. *Journal of Oral Science*, 57(2), 73–78.
- Souza, B. D. M., Dutra, K. L., Kuntze, M. M., Bortoluzzi, E. A., Flores-Mir, C., Reyes-Carmona, J., ... & de Luca Canto, G. (2018). Incidence of root resorption after the replantation of avulsed teeth: A meta-analysis. *Journal of Endodontics*, 44(8), 1216–1227.
- Tay, J. Y., Bay, B. H., Yeo, J. F., Harris, M., Meghji, S., & Dheen, S. T. (2004). Identification of RANKL in osteolytic lesions of the facial skeleton. *Journal of Dental Research*, 83(4), 349–353.
- Trope, M. (2002). Root resorption due to dental trauma. *Endodontic Topics*, 1(1), 79–100.

- Trope, M., Moshonov, J., Nissan, R., Buxt, P., & Yesilsoy, C. (1995). Short vs. long-term calcium hydroxide treatment of established inflammatory root resorption in replanted dog teeth. *Endodontics & Dental Traumatology*, 11(3), 124–128.
- Uchiyama, K., Nakamichi, Y., Nakamura, M., Kinugawa, S., Yamada, H., Udagawa, N., & Baba, K. (2009). Prostaglandin E2 stimulates receptor activator of nuclear factor- κ B ligand expression and inhibits osteoprotegerin expression in human periodontal ligament cells. *Journal of Periodontology*, 80(11), 1854–1861.
- Umashetty, G., Hoshing, U., Patil, S., & Ajgaonkar, N. (2015). Management of inflammatory internal root resorption with biodentine and thermoplasticised gutta-percha. *Case Reports in Dentistry*, 2015, 452609.
- Wada, T., Nakashima, T., Hiroshi, N., & Penninger, J. M. (2006). RANKL-RANK signaling in osteoclastogenesis and bone disease. *Trends in Molecular Medicine*, 12(1), 17–25.
- Zheng, L., ve ark. (2015). The effect of osteoprotegerin on the osteogenic differentiation of mesenchymal stem cells. *International Journal of Molecular Medicine*, 35(5), 1355-1362.

ENDODONTİ ALANINDA BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR

yaz
yayınları

YAZ Yayınları

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3

İscehisar / AFYONKARAHİSAR

Tel : (0 531) 880 92 99

yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com