

Biominimal Endodonti

Biominimal Endodontics

Tuğba TÜRK

<https://orcid.org/0000-0002-3726-3715>

Ege Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı

Atıf/Citation: Türk, T., (2023). Biominimal Endodonti. Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi, 2023; KORUYUCU DIŞHEKİMLİĞİ VE MİNİMAL İNVAZİV YAKLAŞIMLAR ÖZEL SAYI, 65-72.

ÖZ

Doku ve malzeme mühendisliğindeki ilerlemeler, diş hekimliği pratiğini önemli ölçüde etkilemektedir. Doku mühendisliği uygulamalarının diş hekimliğine entegrasyonu, klinik uygulamaları temelden değiştirmekte ve gelecekteki tedavi yöntemlerine ilham kaynağı olabilecek verimli bir araştırma alanı sunmaktadır. Biominimal endodonti, endodontik tedavilerde biyolojik ve minimal invaziv bir yaklaşımı temsil eder. Bütünsel bir perspektifle, diş dokularına en az zarar verme amacını güderken dişlerin dayanıklılığını ve işlevselliğini hücresel düzeyinde korumayı hedefler. Günümüzde, son teknoloji materyaller ve tekniklerle biominimal endodonti, hem geleneksel hem de rejeneratif endodontik tedavilerde uygulanabilir hale gelmiştir. Geleneksel endodontide büyütme sistemleri, ileri düzeyde dezenfeksiyon ve genişletme yöntemleri, biyolojik doldurma teknikleriyle biomimetik hedefler kısmen ulaşılabilir hale gelmiştir. Hücresel biyoloji temelli biominimal rejeneratif endodontik yaklaşımlar ise geleneksel endodontiye biyolojik odaklı yeni nesil çözümler sunmaktadır. Vital dişlerde rejenerasyon, kalan sağlıklı pulpa dokusundan faydalanarak dişlerin canlılığını sürdürmeyi ve doku kayıplarını telafi etmeyi amaçlar. Devital dişlerde ise, pulpal hücre kaybını çevre dokulardan yardım alarak geri kazanmayı ve sağlıklı bir dentin-pulpa kompleksi oluşturmayı hedefler.

Anahtar Kelimeler: Biominimal Endodonti, Biominimalizm, Rejeneratif Endodonti, Vital Pulpa Tedavileri, Biomateriyaller

ABSTRACT

The advancements in tissue and materials engineering have significantly impacted the field of dentistry. The integration of tissue engineering applications into dentistry has fundamentally transformed clinical practices and provided a fertile research area that can serve as an inspiration for future treatment methods. Biominimal endodontics represents a biological and minimally invasive approach to endodontic treatments. With a holistic perspective, it aims to minimize damage to dental tissues while preserving the durability and functionality of teeth at a cellular level. In today's context, biominimal endodontics has become applicable in both conventional and regenerative endodontic treatments, thanks to state-of-the-art materials and techniques. Conventional endodontics can partly achieve biomimetic goals through enlargement systems, advanced disinfection, and expansion techniques, along with biological filling methods. Cellular biology-based biominimal regenerative endodontic approaches offer biological, next-generation solutions to traditional endodontics. In vital teeth, the goal of regeneration is to preserve tooth vitality by utilizing the remaining healthy pulp tissue and compensating for tissue losses. In non-vital teeth, the objective is to restore lost pulpal cells with the support of surrounding tissues, thus establishing a healthy and functional dentin-pulp complex.

Keywords: Biominimal Endodontics, Biominimalism, Regenerative Endodontics, Vital Pulp Treatments, Biomaterials

Sorumlu yazar/Corresponding author*: btugbaturk@gmail.com

Başvuru Tarihi/Received Date: 11.10.2023

Kabul Tarihi/Accepted Date: 25.10.2023

GİRİŞ

Minimalizm, basitlik, az sayıda öge ve etkili işlevsellik üzerine odaklanan bir tasarım ve yaşam tarzı felsefesidir.¹ Minimalizmin temel fikri, gereksiz öğeleri ve karmaşayı ortadan kaldırmak, sadece etkili ve anlamlı olanı bırakmaktır. "Daha azın daha fazla olduğu" kavramı ile büyük bir netlik ve anlam duygusu oluşurken, miktar yerine kaliteye değer vermek ve basitlikte işlevsellik bulmak bilinci oluşur. "Minimal invaziv" terimi, ilk defa 1980'lerin sonlarında gerçek bir tarzı ifade eden bir şekilde kullanılmıştır.¹ Son yıllarda, hücre biyolojisi, biyomühendislik, nanoteknoloji, robotik teknoloji, yüksek çözünürlüklü görüntüleme sistemleri gibi alanlarındaki teknolojik gelişmeler, minimal invaziv tedavilerin tıbbın her alanında benimsenmesine olanak sağlamıştır.

Endodontide "biominimalizm" kavramı, iki önemli ilkenin birleşimini temsil eder: minimalizm ve biyolojik yaklaşımlar. Minimalizm, gereksiz müdahaleleri azaltarak tedavi süreçlerini basitleştirmeyi içerirken, biyolojik yaklaşımlar vücudun içsel rejeneratif potansiyelini kullanmaya odaklanır. Yeni bir sentez olan "biominimalizm", her hastanın biyolojik doğası ile uyumlu ve basitleştirilmiş prosedürleri birleştirerek endodontik tedavilerde devrimi amaçlar. Biominimalizm, özünde, daha çok biyolojik açıdan kişiselleştirilmiş stratejilere vurgu yapar. Amaç, mümkün olduğunca vücudun doğal iyileşme süreçleriyle uyum içinde biomateriyaller kullanarak doğal dokuların hücresel işlevini desteklemek, estetik ve fonksiyonun devamını sağlamaktır. Minimal invaziv endodonti kavramı, diş dokularında mümkün olduğunca en az değişiklik yaparak pulpa-dentin patolojileri ve apikal patolojilerin tedavi edilmesini gerektirir. Bu yaklaşımın amacı, endodontik tedavi görmüş dişin dayanıklılığını ve işlevini koruyarak ve hastanın yaşamı boyunca dişinin her açıdan fonksiyonel olmasını sağlamaktır. Hem konvansiyonel, hem de rejeneratif endodontik tedavilere biominimal ilkeler artık kolaylıkla uygulanabilmektedir. Bu makalede, konvansiyonel ve rejeneratif endodontik tedaviler açısından biominimal yaklaşımlara yönelik değerlendirmeler sunulacaktır.

Konvansiyonel Endodontik Tedavilerde Minimal yaklaşımlar

Konvansiyonel endodontik tedavilerin temel hedefi, apikal periodontitis oluşumunu önlemek veya oluşmuş ise tedavi ederek dişin uzun süreli fonksiyonunu sağlamaktır. Ancak, endodontik tedavi sonuçlarını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Örneğin, restorasyon kalitesi ve kök kanallarının kemomekanik temizliği sonrası dişin yapısal bütünlüğü gibi. Konvansiyonel endodontide yeni nesil yaklaşım ise en basit hali ile kök kanal tedavisi sırasındaki yapısal kayıpları en aza indirmektir. Bu yaklaşım, "minimal invaziv endodonti" olarak adlan-

dırılmış ve tanımlanmıştır.² Gluskin ve ark. göre minimal invaziv endodonti kavramı, diş dokularında en az değişiklik yaparak pulpal patolojilerin ve apikal periodontitin tedavi edilmesi ve önlenmesidir.³ Bu yaklaşımda amaç, endodontik olarak tedavi edilmiş dişin dayanıklılığını ve işlevini korumaktır. Diğer alanlarında olduğu gibi endodontik hastalıkları tedavi eden diş hekimlerinin minimal tedavileri gerçekleştirebilmesi için en son teknoloji materyal ve yöntemleri kullanması gereklidir. Görüntüleme sistemleri, büyütme sistemleri, bilgisayar yazılımları, kanal dezenfeksiyonunda kullanılan yeni yöntem ve materyaller, biomateriyaller ve yeni nesil restorasyon teknikleri bu anlamda önemli katkılar sağlar.³

Yapısal Bütünlüğü Korumak

Endodontik tedavili dişin kalan yapısal bütünlüğü, restorasyon sonrası dişin prognozu belirleyen önemli bir faktörlerdendir.^{4,5} Dişin dayanıklılığı ve yapısal deformasyona karşı direncini korumak, özellikle endodontik tedavi sonrası yapılan restoratif tedavilerin en önemli amacıdır. Karmaşık kök kanal anatomisi, endodontik tedavi sırasında önemli zorluklar oluşturabilir. Klasik endodontik tedavide öncelikle, kök kanal sisteminin etkili bir şekilde temizlenmesine ve doldurulmasına imkan verecek şekilde kök kanal sistemine ulaşılmaya çalışılır. Eski tarihli klasik endodonti kaynakları, okluzal yüzden kök kanal ağzlarına direkt ve doğrusal çizgi şeklinde erişimin yapılması gerektiğini ve giriş kavitelelerinin okluzala doğru daha büyük olacak şekilde genişletilmesini önermektedir. Günümüzde gelişmiş büyütme sistemleri ve yeni nesil kanal aletleri sayesinde ile bu eski yaklaşım, artık terk edilmiştir.^{6,7} Ayrıca son dönemlerde peri-servikal dentinin, dişin uzun süreli sağkalımı ve optimum fonksiyonları için kritik olduğu düşünülmektedir ve yapısal bütünlüğünün korunmasına vurgu yapılmaktadır.⁷

Kök kanalları genellikle kesitleri asimetric veya oval olan, kanal duvarlarında girintiler ve kavisler bulunan, dallanmalar gösteren karmaşık anatomidedirler.⁸ Karmaşık kök kanal anatomisine uygun giriş sağlamak yeterli kimyasal temizlik yapabilmek ve iyi şekilde doldurabilmek için gereklidir. Günümüzde klinisyenler, kök kanallarının fazla genişletilmesinin kök yapısını zayıflattığına ve geniş kök kanallarının dolun aşamasında kontrol kaybına yol açtığına inanmaktadır. Bu nedenle, düşük taperli ama yeterli minimal apikal çapı olan eğe sistemleri tercih edilmektedir. Endodontik hastalıklarda kök kanal sisteminin mikroganizmalardan tamamen temizlenmesi en önemli amaçtır. İlk bakışta, kök kanal tedavisine yönelik herhangi bir minimal invaziv yaklaşım, dezenfeksiyonla çelişiyor gibi görünse de bu çelişki literatürde tam olarak kanıtlanamamıştır.⁹ Klasik dezenfeksiyon ve şekillendirme yöntemleri, kök kanal sistemindeki tüm mikroorganizma yükünü tam olarak uzaklaştıramadığı için, daha etkili ve kolay dezenfeksiyon yöntemleri bulmaya yönelik araştırmalar devam

etmektedir. Yeni fiziksel yöntemler, aktivasyon sistemleri, lazer sistemleri ve nanomoleküller üzerinde çalışmalar devam etmektedir ve umut verici sonuçlar yayınlanmaktadır.^{10,11}

Endodontik tedavide, tüm akut semptomların tedavi etmesinin yanında uzun dönemli başarı da kuşkusuz çok önemlidir. Uygulanan endodontik tedavi başarılı olsa bile ilgili dişin kırık gibi sebeplerden dolayı çekilmek zorunda kalması hasta tarafından kabul edilebilir bir durum değildir ve hastalar bu durumu direkt endodontik tedavi başarısızlığı olarak adlandırabilirler.¹² Endodontik tedavi görmüş dişlerin restorasyonu konusunda yapılmış çalışmalar, koronal ve radiküler diş yapısının bütünlüğünün korunmasında, peri-servikal dokuların "ferrulle" etkisi sağlayarak hayati önem taşıdığını bildirmektedir.¹³ Kalan dentin duvarlarının bütünlüğü, diş içindeki gerilimleri azaltarak koruyucu bir etki sağlar. Koronel bölgede 1,5-2 mm'lik bir ferrullenin bulunması, endodontik tedavili dişlerin kırılma direnci üzerinde anlamlı bir etkiye sahiptir.¹³

Diş dokularından olabildiğince minimum miktarı uzaklaştırarak, geride kalan dokuların gelişmiş irrigasyon teknikleri ile dezenfekte edilmesi ve kök kanallarının biyomatemiyal esaslı kök kanal dolgu materyalleri ile doldurulması, konvansiyonel biyolojik endodontik tedavinin ana odak noktasını oluşturur. Aynı zamanda koronel restorasyonun da biyomimetik özelliklere sahip olması gerekmektedir.

Vital pulpa Tedavileri (VPT)

Tıp ve diş hekimliği alanında, sıklıkla yüksek kalitede kanıt olmaksızın doğru kabul edilen bazı klasik yaklaşımlar, bilimsel gelişmelere rağmen, popülerliğini devam ettirebilmektedir. Alışılğelmış klasik tedavi yöntemlerinin pratikte değiştirilmesi, güçlü kanıtlara rağmen kolay olmayabilir. Endodontide bu durum en çok vital pulpa tedavi konusunda yaşanmaktadır. Gerçek bir biominimal endodontik tedavi olan pulpa canlılığını korumaya yönelik tedaviler, 1900'lü yılların başında ortaya konulmuş olan fokal enfeksiyon teorisinden beri en çok şüpheyle yaklaşılan endodonti tedaviler olmuştur.

Ancak, günümüzdeki kanıtlar, kalıcı dişlerde çoğu pulpal enfeksiyon ve iltihabın kontrol altına alınabileceğini göstermektedir. Eskiden "irreversible" olarak kabul edilen iltihaplı pulpa dokusunun iyileşebilme yeteneğine sahip olduğu kanıtlanmıştır.^{14,15} Yakın zamanda yayımlanan, Amerikan Endodonti Derneği ve Avrupa Endodonti Derneği bildireleri, irreversible pulpitisin mutlak tedavisinin pulpa ekstirpasyonu olmadığını altını çizmiştir.^{16,17} Bu gelişme, biyolojik minimal invaziv endodontik tedaviler için yeni bir dönemin başlangıcını işaret etmekte ve doğal dokuya mümkün olan en az müdahaleyle tedavi yaklaşımını vurgulayan önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir. Mevcut paradigmada yaşanan değişim, diş

hekimlerinin, irreversible pulpitis veya derin çürük tanısı konulan durumlar için kesin tedavi yöntemi olarak pulpotominin de düşünülmesi gerektiğini işaret etmektedir.

Eski zamanlarda, pulpa dokusunun bakteri ataklarına karşı tamamen savunmasız olduğu düşünölmekteydi. Çürük gibi sebeplerle mikroorganizma akümülyasyonu olduğunda enfeksiyonun tüm kök boyunca hızlıca ilerleyeceği ve olgun dişlerinin dar apikal açıklığından geçen küçük damarların hücreyel savunma için yeterli olmayacağı düşüncesi hakimdi. Bu yüzden pulpa dokusundaki her enflamasyonun geri dönüşümsüz olduğu kabul ediliyordu. Dentin duvarlarıyla çevrili kapalı bir alanda kollateral dolaşımdan yoksun olması pulpa dokusu için bir dezavantaj olsa da, yapılan çalışmalar, pulpa dokusunun enflamasyon sırasında meydana gelen orta şiddetli basınç artışlarını tolere edebileceğini ve aynı zamanda etkili bir savunma sistemine sahip olduğunu göstermiştir.^{18,19} Günümüzde, pulpa dokusu patofizyolojisi, savunma mekanizmaları ve iyileşme kapasitesi hücreyel düzeyde ortaya konulmuştur.

Histopatolojik ve histobakteriyolojik çalışmalar, irreversible pulpitis veya çürük sebepli pulpa ekspozisyonu olan dişlerin pulpasına bakterilerin kolonize olduğu nekrotik bir bölge olduğunu göstermiştir.²⁰ Ancak, bakterilerle kolonize olmuş nekrotik alanın birkaç milimetre uzağında, genellikle enflamasyon ve bakteriden arınmış sağlıklı pulpal dokusu olduğu da gösterilmiştir.²¹ Pulpa dokusunda, bakteriyel enfeksiyonlara karşı doğuştan ve adaptif immun mekanizmaları vardır.^{22,23} Mikroorganizma akümülyasyonunu ortadan kaldırmak için herhangi bir tedavi uygulanmazsa, enflame olmuş pulpa alanı zamanla büyüyerek diğer pulpa alanlarına yayılabilir ancak halen kök bölgesinde enfekte olmamış sağlıklı pulpa dokusu bulunabilir.²⁰ Teorik olarak, pulpanın enfekte olan kısmı tamamen çıkarıldığında, alandaki aktif immun/enflamatuar hücreler apoptozis yoluyla deaktive olup ortamdaki uzaklaştırılır, kalan alanda pulpa dokusunun iyileşmesi için uygun bir ortam oluşmuş olur. Daha sonra odontoblastlar veya kök hücrelerden farklılaşan odontoblast benzeri hücreler dentin köprüsü salgılamaya başlarlar. Tüm bu mekanizmalar göz önüne alındığında, histolojik olarak pulpa da şiddetli enflamasyon hücrelerinin varlığı, patolojinin tüm pulpa dokusu için geri dönüşümsüz olduğu anlamına gelmez.

Bu nedenle, günümüzde pulpada enflamasyon varlığının, geri dönüşümsüz şekilde total nekroz anlamına gelmediği kabul edilmiştir. Bunun yerine, enflamasyonun istenilen bir savunma mekanizması olduğu ve doğru şartlar sağlandığında pulpada meydana gelecek onarım ve iyileşmeyi başlattığı bilinmektedir. Ancak, pulpal enflamasyon sürekli ve kontrolsüz bir şekilde devam ederse, diş gereklili tedaviler uygulanmazsa, enflamasyon tüm pulpa dokusuna yayılır ve total nekroz oluşabilir²⁴

Reversible ve Irreversible pulpitis değişimleri

Günümüze kadar geliştirilmiş objektif bir test yöntemi olmadığı için, geleneksel olarak, pulpitisin reversible veya irreversible olarak ayrımı, hastanın semptomları ve vitalite test sonuçları gibi subjektif değerlendirmelere dayandırılmıştır. Ancak, bu basit ikili yaklaşım, enflame olmuş canlı pulpayı reversible veya irreversible olarak sınıflandırmaya odaklanırken, bu odak günümüzdeki pulpa biyolojisi ve pulpal kompleksin savunma tepkilerini dair yeni bilgilerimizle uyumsuzluk gösterir.²⁰ Histolojik kanıtlara göre, pulpitisin reversible-irreversible ayrımının kesin bir sınırı yoktur, bu yüzden pulpitisler her duruma özgü değerlendirilmelidir.¹⁶ Pulpa enflamasyonu ve iyileşme kapasitesine ilişkin güncel bilgilerimiz, mevcut klasik pulpitis sınıflandırmasının revize edilme ihtiyacını doğurmuştur.^{25,26} Wolters ve arkadaşları hasta semptomlarına ve olası histolojik tabloya dayanarak yeni bir pulpitisin sınıflandırması geliştirilmiş ve bu yeni sınıflandırmaya göre pulpitis türlerini farklı vital pulpa tedavileri ile ilişkilendirilmiştir.²⁶ Avrupa Endodonti Derneği, histolojik bulgulara dayanarak 'kısmi irreversible pulpitis' terimini daha doğru bir klinik yansıması olarak önerirken¹⁷ bazı araştırmacılar ise tanısal terimin başka bir ayrım olmadan sadece 'pulpitis' ile sınırlandırılması gerektiğini ileri sürmüşlerdir.¹⁵ Minimal invaziv endodonti uygulamaları bağlamında, özellikle pulpa biyolojisinin daha iyi anlaşılması ve canlı pulpanın korunmasının öneminin farkındalığıyla birlikte, artık "reversible" ve "irreversible" terimlerinin eskimiş olduğu kabul edilmektedir.²⁷ Önerilen yeni pulpitis sınıflaması, klinisyenlere çürük sebepli pulpa enflamasyonu olan dişlerin daha koruyucu tedavi seçeneklerine yönlendirebilmesi konusunda önemli bir etki yaratmaktadır.

Çok önemli sınırlamaları olmakla birlikte pulpa canlılık testleri, klinik semptomlar ve bulgular pulpanın durumu hakkında sadece ön bilgi verebilir ve bu ön bilgiye göre tedavi planlamaları yapılabilir. Ancak tedavi sırasında her aşamada bu plan tekrar gözden geçirilmelidir. Yeni tedavi rehberinde en dikkat çekici değişim, irreversible pulpitisli (şiddetli ve sürekli spontan ağrı ve termal testlere aşırı uzamış yanıt) olarak tanımlanan dişlerin bazı durumlarda vital tedavi ile tedavi edilebilir önerisidir.²⁸ Ayrıca perküsyon hassasiyeti ve lezyonu olan vital dişlerde de gerçek etkeni ortaya koyarak vital pulpa tedavisi yapılabileceği önerilmiştir. Bu noktada apikal lezyonun gerçekten pulpa kaynaklı olup olmadığı, perküsyon hassasiyetinin apikal bölgedeki endodontik kaynaklı bir lezyondan mı kaynaklandığının ayrımı çok iyi yapılmalıdır. Kök kanal sisteminde enflamasyondan etkilenmemiş sağlıklı bir pulpa dokusuna rastlanıldığında mutlaka vital pulpa tedavileri ilk düşünülmesi gereken tedavi seçeneği olmalıdır. Irreversible pulpitis veya perküsyon belirtileri olmayan vital dişlerde ise pulpa perfore olduğunda direkt pulpa kuafajı işlemi yapılmalı, ancak, perfore alanda pulpal kanama durdurulamaz ise koronel amputasyona kadar gidilebileceği unutulmamalıdır.

Yetişkin daimi dişlerdeki geri dönüşümsüz pulpitis veya çürük kaynaklı pulpa enflamasyonu durumlarında tam pulpektomi apikal periodontitis gelişimini önleyici bir prosedür olarak değerlendirilebilir.¹⁴ Ancak, mümkün olabiliyorsa, irreversible pulpitisli dişlerin vital pulpa tedavileri ile canlı olarak kurtarılması, geleneksel kanal tedavisine göre birçok avantaj sunar: tedavi daha az karmaşıktır ve kolaydır, dişin canlılığı korunmuş olur, canlı korunan pulpa dokusu hücrel savunma hattı oluşturur, pulpanın rejeneratif potansiyeli korunur, diş dokularının yapısı bütünlüğü korunur, hastaların ağrı ve rahatsızlık duyma riski azalır, zaman ve maliyet tasarrufu sağlar.

VPT'leri geleneksel kök kanal tedavisine göre teknik olarak daha az zorlayıcı olsa da, uzun vadeli başarı elde etmek için prosedürel önerilerin sıkı bir şekilde uygulanmasını gerektirir. Pulpanın ilk durumunun doğru teşhisi; sıkı aseptik şartların sağlanması ve rubber dam izolasyonu, kalan pulpa dokusunun dezenfeksiyonu ve hemostazi; biyoaktif hidrofilik kalsiyum silikat simanların uygulanması ve sızdırmaz koronal restorasyon gibi parametreler VPT başarısını direkt etkilemektedir.

Pulpal kanama ve hemostaz

Pulpotominin sonuçlarında belirleyici olan diğer bir durum, iltihaplı pulpa dokusunun çıkarılmasından sonra hemostaz sağlanabilmesidir. Pulpa açığa çıktıktan sonra boşluğun NaOCl ile yıkanması bakteri yükünü en aza indirebilir ve dentin artıklarının pulpa dokusuna yerleşmesini önleyebilir.^{17,29} Pulpa amputasyonu, bol su irrigasyonu altında, steril, yüksek hızlı döner frez veya keskin bir ekskavatör ile gerçekleştirilmelidir. Pulpa perfore olduğunda pulpa dokusu büyütme altında dikkatlice incelenmelidir. Perfore alandaki pulpa dokusunun büyütme altında dikkatli şekilde değerlendirilmesi nekrotik pulpa artıklarının tam olarak uzaklaştırılabilmesi açısından önem taşımaktadır. Sağlıklı vital pulpa düzenli ve kırmızı vasküler bir doku olarak görünürken, nekrotik ve enflame pulpa, çok az kanamalı, sarımsı likefaksiyon alanları olan ve koyu avasküler doku yapısındadır. Ayrıca pulpa dokusuna gömülü kalsifik kalıntılarda gözlenebilir.²⁸

Ampute edilmiş pulpa dokusunun hemostazi ve dezenfeksiyonu, pulpa yüzeyine sodyum hipoklorit üzerine emdirilmiş içeren steril pamuk peletin yerleştirilmesi ile veya pasif NaOCl irrigasyonu yoluyla sağlanabilir. NaOCl'in %0.5-5 aralığındaki konsantrasyonlarının pulpa dokusu üzerinde kullanılması, rejenerasyon/tamir sırasında rejeneratif hücrelerin kemotaksisini ve farklılaşmasını sağlar, dolayısıyla reparatif dentin oluşumunu bozamaz.^{29,30} NaOCl, aynı zamanda dentin-pulpa ara yüzünü dezenfekte ederek olası biyofilm tabakasını da uzaklaştırır.²⁹ Fizyolojik salin solüsyonunun, NaOCl yerine hemostaz için kullanılması ise antimikrobiyal etki yaratmayacağı için daha başarısız sonuçlara neden olduğu bildirilmiştir.³¹

Pulpa amputasyonundan sonra hemostazın sağlanması için geçen süre, pulpal enflamasyonun derecesi için bir gösterge ve VPT'nin işlemsel başarısı için prognostik bir faktör olarak kullanılmıştır.³² Bununla birlikte, pulpotomi sonrası 'kanamayı durdurma zamanını' araştıran retrospektif bir çalışma, çürüğe maruz kalmış pulpanın hemostazı süresinin tedavi sonuçları üzerinde hiçbir etkisi olmadığı sonucuna varmıştır.³³ Klinik çalışmalar ise 1 ila 20 dakika arasında değişen kanama süreleri için başarılı sonuçlar bildirmiştir.³⁰ Son incelemeler kanama süresinin pulpal enflamasyonun gerçek bir göstergesi olmayabileceğini ve bu nedenle hızlı hemostaz sağlanmasının başarılı sonuçları garantilemediği bildirilmiştir.³⁴ Ancak güncel olarak, hemostaz girişimlerine rağmen on dakikayı aşan kanamanın olduğu vakalarda pulpektomi tercih edilmesi önerilmektedir.¹⁵

Pulpa dokusu üzerine yerleştirilen materyaller

Yetişkin dişlere uygulanan vital pulpa tedavilerine ilişkin en yaygın endişe pulpa odası ve kök kanallarının kalsifiye olma riskidir. Oysa ki böyle bir kalsifikasyon yanlış materyal kullanımı, koronel sızıntı veya vital pulpa tedavisi sırasında pulpanın yetersiz dezenfekte edilmesiyle oluşan enfeksiyon sebebi ile oluşabilmektedir. Bu durumlardan kaçınmak için materyal seçimi büyük önem taşımaktadır. Pulpa dokusunun enfekte olan kısmı uzaklaştırıldıktan sonra kalan pulpa dokusunun üzerine doğrudan yerleştirilecek olan siman, iyi bir sızdırmazlık sağlayabilmeli, pulpa dokusunun iyileşme uyarmalı, dentin üretimini teşvik etmeli, biyoyumlu ve biyoaktif olmalıdır. Bu özelliklerinin yanında kullanımı kolay olmalı ve dişlerde renklenme gibi yan etkiler yaratmamalıdır.¹⁷ Kalsiyum hidroksit (KH), yüksek alkali özelliği ve reaktif dentin oluşumunu uyabilme yeteneği ile uzun yıllardır kullanılmış en popüler bir materyaldir. Ancak, kalsiyum hidroksitin, canlı pulpa üzerine doğrudan uygulandığında bir dizi iyileşme komplikasyonu yaratıp ve tedavinin uzun dönemde başarısızlığına sebep olduğu bildirilmiştir.³⁵ Vital pulpa tedavilerinde KH kullanımının dezavantajları arasında, KH uygulanan pulpanın ürettiği dentin köprüsünde oluşan tünel defektleri, defektler sebebi ile oluşabilecek sızıntı, sıvıları ile temasta yüksek çözünürlük, ve pulpa yüzeyine zayıf bağlanma sayılabilir.³⁶⁻³⁸ Pulpotomide, KH kullanıldığında tedavinin klinik başarının daha düşük ve uyumsuz bir aralıkta (%34-92) olduğu çeşitli çalışmalar ile rapor edilmiştir.³⁶⁻³⁸ Günümüzde, kalsiyum hidroksitin perfore pulpa dokusu üzerinde direkt kullanımı önerilmemektedir.

Hidrolik Kalsiyum Silikat Simanlar

Yaklaşık 30 yıl önce ilk olarak mineral trioksit agregat'ın piyasa sürülmesi ve daha sonra yenilerinin eklenmesiyle biyoaktif hidrofilik kalsiyum silikat esasl

simanlar (HKSS) vital pulpa tedavilerinde başarı ile kullanılmaya başlanmıştır. HKSS'lerin, daimi dişlerde pulpotomi materyali olarak kullanılmaya başladığında VPT başarısı anlamlı şekilde (%85-100) arttığı görülmektedir.³⁹⁻⁴² Çok iyi sızdırmazlık özellikleri olan yeni nesil biyoaktif HKSS'lar, boyutsal olarak stabil, biyoyumlu ve immünomodülatördürler. Son çalışmalar, HKSS'lerin dentin büyüme faktörlerinin salımını indüklediğini, anjiyogenezini düzenlediğini ve kök hücrelerin odontoblastlara farklılaşmasını uyurabileceğini göstermiştir.^{43,44} Bu biyolojik özellikler, daha iyi bir pulpal iyileşme ve daha kaliteli dentin köprüsün oluşumunu sağlar. Tüm bu etkileri HKSS'lar VPT başarısını artırır ve öngörülebilir kılar.

VPT'lerinin başarı kriterleri

Avrupa Endodonti Derneği, VPT uygulanan dişlerin tedaviden 6 ve 12 ay sonra klinik ve radyografik olarak değerlendirilerek, pulpa canlılık testlerinin yapılmasını önermektedir. İlk yıldan sonra dört yıl boyunca yıllık değerlendirmeler yapılması gerektiği bildirilmiştir.¹⁷ Başarı için, dişin asemptomatik ve fonksiyonel olması, perküsyon veya palpasyonda ağrı, şişlik veya fistül olmaması ölçüt olarak kabul edilir. Radyografik olarak, internal ve eksternal rezorpsiyon olmamalı, varsa preoperatif periapikal lezyonun iyileşmesi ve yeni periapikal patolojilerin oluşmaması gerekir. Direkt kuafaj veya parsiyel amputasyon yapılan dişlerde pulpa canlılık testlerine normal yanıt alınmalıdır. Ancak total amputasyon yapılmış dişlerin duyarlılık testlerine yanıt verebilmesi zordur ve bu durumlarda klinik veya radyografik başarısızlık belirtileri olmadığı sürece tedaviler başarılı kabul edilir.¹⁵

Son klinik çalışmalar, pulpotomi uygulanan dişlerde erken başarısızlıkların (tedaviden 3-6 ay içinde başarısız olanlar) genellikle endodontik nedenlere (örneğin, pulpanın enflamatuvar durumunun yanlış değerlendirilmesi) bağlı olduğunu, ileri dönemdeki başarısızlıkların ise genellikle restoratif (örneğin, hijyenik olmayan koronel restorasyonun sızdırması ile pulpa yeniden enfekte olması) nedenlere bağlı olduğu bildirilmiştir.⁴⁵ Klinik çalışmalar, yaş, cinsiyet, önceki restorasyonların türü gibi farklılıkların tedavinin prognozunu belirlemede anlamlı faktörler olmadığını göstermektedir.^{45,46} Pulpada enflamasyonun şiddeti ve yaygınlığı (erken başarısızlıklar için) ve yapılan daimi koronal restorasyonun kalitesi (geç başarısızlıklar için) gibi faktörler, daimi dişlerdeki pulpatominin prognozu için anlamlı bulunan faktörlerdir.⁴⁵

Revitalizasyon

Rejeneratif endodontik tedavi; dentin, pulpa, sement ve periodontal dokuyu içine alan zarar görmüş dokuların hücresel olarak tamirini sağlayan biyolojik temelli

işlemler olarak tanımlanır.⁴⁷⁻⁴⁹ Bu prosedür için rejenerasyon, revitalizasyon, revaskülarizasyon gibi çeşitli tanımlamalar yapılmıştır.⁵⁰ Klinik belirti ve semptomların çözülmesi, kökün gelişiminin tamamlanması ve nörojenik yapıların tekrar oluşturulması rejeneratif endodontik tedavinin amaçlarındandır.⁵¹

Devital dişlerde yapılan rejeneratif endodontik tedavinin ilk temelleri, Nygaard-Ostby'nin (1961) deneysel çalışmalarıyla atılmıştır.⁵² Nygaard-Ostby apikalde oluşturulan kanamanın ve kanalda oluşan pıhtının önemine dikkat çekmiştir, ancak o yıllarda tedavilerinde yeterince dezenfeksiyon sağlanmadıkları için başarılı sonuçlar alamamışlardır. Daha sonra, Iwaya ve ark. 2001 yılında immature devital daimî dişlerde 'revaskülarizasyon' adını verdikleri benzer tedavi yöntemini yayınlamışlardır.⁵³ Iwaya ve arkadaşlarının tedavileri, klinik ve radyolojik semptomların ortadan kaldırılmasının yanı sıra immature daimi dişin kanal duvarlarının kalınlaşmasını ve geniş apikal açıklığın kapanmasını sağlamıştır. Daha sonraki yıllarda ise rejenere edilen dokuların sadece kan damarları olmadığı aynı zamanda sert ve yumuşak doku kazanımı da olduğu için revaskülarizasyon yerine "revitalizasyon" teriminin kullanımı önerilmiştir.⁵⁴ 2007 yılında "rejeneratif endodonti" terimi, Amerikan Endodonti Derneği tarafından, doku mühendisliği konseptine dayalı bir tedavi olarak kabul edilmiş ve tescillenmiştir.⁴⁹ Avrupa Endodonti Derneği ise 2016 yılında bir yönerge yayımlayarak tedaviyi detaylı şekilde tanımlanmıştır.⁵⁵

Rejeneratif endodontinin kök hücreler, doku iskelesi ve biyoaktif büyüme faktörleri olmak üzere üç temel yapı taşı vardır.^{51,56} Pulpa-dentin kompleksini oluşturmak için kök hücrenin bölgeye yerleştirilmesi (cell based) ya da

kök hücrenin bölgeye çağırılması (cell homing) olmak üzere iki ana doku mühendisliği stratejisi kullanılır.^{51,57}

Devital dişlerde rejeneratif endodontik tedavi, ilk yıllarda immature dişlerde kullanılmış olsa da, son zamanlarda mature dişlerde de kullanımı sorgulanmakta ve çeşitli yayınlar bu yaklaşımı desteklemektedir.^{50,58} Devital dişlerde kök kanal boşluğunu sentetik materyallerle doldurmak yerine, benzer hücreleri, damarları ve sinir yapılarını içeren biyolojik dokularla doldurmak, tam anlamıyla biyominimal bir endodontik yaklaşımı temsil etmektedir. Kök kanallarında minimal genişletme ile maksimum dezenfeksiyon sağlayarak, yeni dokunun oluşmasına uygun bir ortam yaratmak ve dokunun kendi doğal rezervlerini kullanmak modern materyal ve tekniklerle mümkün hale gelmektedir. Bu konuda yapılan ve yapılacak olan ileri düzeyli klinik ve laboratuvar çalışmaları, gelecekte başarı oranlarının daha da artabileceğini düşündürmektedir.

SONUÇ

Biyominimalizm, minimalizm ve biyolojik yaklaşımların birleşimi olarak, endodontik tedavileri daha kişiselleştirilmiş ve biyometrik hale getirme amacını taşır. Bu yaklaşım, minimal invaziv endodonti prensiplerini benimserken aynı zamanda vücudun doğal iyileşme süreçlerini ve fizyolojisini desteklemeyi hedefler. Günümüzde, bu prensipler konvansiyonel ve rejeneratif endodontik tedavilere kolaylıkla uygulayabilmektedir. Bu yaklaşım, endodontik tedavileri daha kolay uygulanabilir, etkili ve vücutla uyumlu hale getirerek tedavinin başarı oranlarını ve hasta konforunu artırma potansiyeline sahiptir.

KAYNAKLAR

1. Hornstein N, Nunes J, Grohmann KK. Understanding Minimalism. Cambridge University Press, 2005
2. Murdoch-Kinch CA, McLean ME. Minimally invasive dentistry. J Am Dent Assoc 2003; 134: 87-95
3. Gluskin, AH., Peters, CI, Peters, O. A. (2014). Minimally invasive endodontics: challenging prevailing paradigms. B Dent J 2014;216: 347-353.
4. Tang W, Wu Y, Smales R J. Identifying and reducing risks for potential fractures in endodontically treated teeth. J Endod 2010; 36: 609-617.
5. Nagasiri R, Chitmongkolsuk S. Long-term survival of endodontically treated molars without crown coverage: A retrospective cohort study. J Prosthet Dent 2005; 93: 164-170
6. Peters OA. Accessing root canal systems: knowledge base and clinical techniques. ENDO 2008; 2: 87-104
7. Clark D, Khademi JA. Case studies in modern molar endodontic access and directed dentin conservation. Dent Clin North Am 2010; 54: 249-273.
8. Wu MK, Dummer PM, Wesselink PR. Consequences of and strategies to deal with residual post-treatment root canal infection. Int Endod J 2006; 39: 343-356.
9. Ng YL, Mann V, Gulabivala K. A prospective study of the factors affecting outcomes of nonsurgical root canal treatment: part 1: periapical health. Int Endod J 2011; 44: 583-609
10. Huffaker SK, Safavi K, Spangberg LS, Kaufman B. Influence of a passive sonic irrigation system on the elimination of bacteria from root canal systems: a clinical study. J Endod 2010; 36: 1315-1318.
11. Peters O A, Bardsley S, Fong J, Pandher G, Divito E. Disinfection of root canals with photon-initiated photoacoustic streaming. J Endod 2011; 37: 1008-1012.

12. Ree M, Schwartz R S. The endo-restorative interface: current concepts. *Dent Clin North Am* 2010; 54: 345–374.
13. Juloski J, Radovic I, Goracci C, Vulicevic Z R, Ferrari M. Ferrule effect: a literature review. *J Endod* 2012; 38: 11–19.
14. Lin M, Ricucci D, Saoud T M, Sigurdsson A, Kahler B. Vital pulp therapy of mature permanent teeth with irreversible pulpitis from the perspective of pulp biology. *Aust Endod J* 2020; 46: 154–166.
15. Taha NA, About I, Sedgley CM, Messer HH. Conservative management of mature permanent teeth with carious pulp exposure. *J Endod* 2020; 46: S33-S41.
16. AAE Position Statement on Vital Pulp Therapy. *J Endod* 2021; 47: 1340–1344.
17. Duncan H F, Galler K M, Tomson P L et al. European Society of Endodontology position statement: Management of deep caries and the exposed pulp. *Int Endod J* 2019; 52: 923–934.
18. Farges J C, Alliot-Licht B, Renard E et al. Dental Pulp Defence and Repair Mechanisms in Dental Caries. *Mediators Inflamm* 2015; 2015: 230251.
19. Lundy F T, Irwin C R, McLean D F, Linden G J, El Karim I A. Natural Antimicrobials in the Dental Pulp. *J Endod* 2020; 46: S2-S9.
20. Ricucci D, Loghin S, Siqueira Jr J F. Correlation between clinical and histologic pulp diagnoses. *J Endod* 2014; 40: 1932–1939.
21. Ricucci D, Siqueira Jr J F, Li Y, Tay F R et al. Vital pulp therapy: histopathology and histobacteriology-based guidelines to treat teeth with deep caries and pulp exposure. *J Dent* 2019; 86: 41–52.
22. Hahn CL, Liewehr FR. Innate immune responses of the dental pulp to caries. *J Endod* 2007; 33: 643–651.
23. Hahn CL, Liewehr FR. Update on the adaptive immune responses of the dental pulp. *J Endod* 2007; 33: 773–781.
24. Cooper PR, Takahashi Y, Graham LW, Simon S, Imazato S, Smith A J. Inflammation-regeneration interplay in the dentine-pulp complex. *J Dent* 2010; 38: 687-697.
25. Rechenberg DK, Zehnder M. Call for a review of diagnostic nomenclature and terminology used in endodontics. *Int Endod J* 2020; 53: 1315-1317.
26. Wolters WJ, Duncan HF, Tomson PL et al. Minimally invasive endodontics: a new diagnostic system for assessing pulpitis and subsequent treatment needs. *Int Endod J* 2017; 50: 825-829.
27. Galicia JC, Peters OA. Proposal for a new diagnostic terminology to describe the status of the dental pulp. *Int Endod J* 2021; 54: 1415-1416.
28. Yong D, Cathro P. Conservative pulp therapy in the management of reversible and irreversible pulpitis. *Aust Dent J* 2021;66: S4-S14
29. Hafez AA, Cox CF, Tarim B, Otsuki M, Akimoto N. An in vivo evaluation of haemorrhage control using sodium hypochlorite and direct capping with a one-or two-component adhesive system in exposed nonhuman primate pulps. *Quintessence Int* 2002;33:261-272.
30. Bogen G, Kim JS, Bakland LK. Direct pulp capping with mineral trioxide aggregate: an observational study. *J Am Dent Assoc* 2008; 139: 305-315.
31. Tüzüner T, Alacam A, Altunbas D A, Gokdogan F G, Gundogdu E. Clinical and radiographic outcomes of direct pulp capping therapy in primary molar teeth following haemostasis with various antiseptics: a randomised controlled trial. *Eur J Paediatr Dent* 2012; 13: 289-292.
32. Matsuo T, Nakanishi T, Shimizu H, Ebisu S. A clinical study of direct pulp capping applied to carious-exposed pulps. *J Endod* 1996; 22: 551-516.
33. Linsuwanont P, Wimonstuthikul K, Pothimoke U, Santiwong B. Treatment Outcomes of Mineral Trioxide Aggregate Pulpotomy in Vital Permanent Teeth with Carious Pulp Exposure: The Retrospective Study. *J Endod* 2017; 43: 225-230.
34. Asgary S, Parhizkar A. Importance of 'Time' on 'Haemostasis' in Vital Pulp Therapy - Letter to the Editor. *Eur Endod J* 2021; 6: 128-129.
35. Barthel CR, Rosenkranz B, Leuenberg A, Roulet J F. Pulp capping of carious exposures: treatment outcome after 5 and 10 years: a retrospective study. *J Endod* 2000; 26: 525-528.
36. Santini AH. Intraoral comparison of calcium hydroxide (Calnex) alone and in combination with Ledermix in first permanent mandibular molars using two direct inspection criteria. *J Dent* 1985; 13: 52-59.
37. Bjørndal L, Reit C, Bruun G et al. Treatment of deep caries lesions in adults: randomized clinical trials comparing stepwise vs. direct complete excavation, and direct pulp capping vs. partial pulpotomy. *Eur J Oral Sci* 2010; 118: 290-297.
38. Taha N A, Khazali M A. Partial Pulpotomy in Mature Permanent Teeth with Clinical Signs Indicative of Irreversible Pulpitis: A Randomized Clinical Trial. *J Endod* 2017; 43: 1417-1421.
39. Taha NA, Ahmad MB, Ghanim A. Assessment of Mineral Trioxide Aggregate pulpotomy in mature permanent teeth with carious exposures. *Int Endod J* 2017; 50: 117-125.
40. Awawdeh L, Al-Qudah A, Hamouri H, Chakra R J. Outcomes of Vital Pulp Therapy Using Mineral Trioxide Aggregate or Biodentine: A Prospective Randomized Clinical Trial. *J Endod* 2018; 44: 1603-1609.

41. Asgary S, Eghbal MJ, Shahravan A, Saberi E, Baghban AA, Parhizkar A. Outcomes of root canal therapy or full pulpotomy using two endodontic biomaterials in mature permanent teeth: a randomized controlled trial. *Clin Oral Investig* 2022; 26: 3287-3297.
42. Koli B, Chawla A, Logani A, Kumar V, Sharma S. Combination of Nonsurgical Endodontic and Vital Pulp Therapy for Management of Mature Permanent Mandibular Molar Teeth with Symptomatic Irreversible Pulpitis and Apical Periodontitis. *J Endod* 2021; 47: 374-381.
43. Smith AJ, Duncan HF, Diogenes A, Simon S, Cooper PR. Exploiting the Bioactive Properties of the Dentin-Pulp Complex in Regenerative Endodontics. *J Endod* 2016; 42: 47-56.
44. Tomson PL, Lumley PJ, Smith A J, Cooper PR. Growth factor release from dentine matrix by pulp-capping agents promotes pulp tissue repair-associated events. *Int Endod J* 2017; 50: 281-292
45. Taha NA, Al-Khatib H. 4-Year Follow-Up of Full Pulpotomy in Symptomatic Mature Permanent Teeth with Carious Pulp Exposure Using a Stainproof Calcium Silicate-Based Material. *J Endod* 2022; 48: 87-95
46. Asgary S, Eghbal MJ, Fazlyab M, Baghban AA, Ghodduji J. Five-year results of vital pulp therapy in permanent molars with irreversible pulpitis: a non-inferiority multicentre randomized clinical trial. *Clin Oral Investig* 2015; 19: 335-341.
47. Hargreaves, KM, Diogenes A, Teixeira, FB. Treatment options: biological basis of regenerative endodontic procedures. *Pediat D*, 2013; 35: 129–140.
48. Diogenes, A, Henry MA, Teixeira FB, Hargreaves KM. An update on clinical regenerative endodontics. *Endod Topics*, 2013;28: 2-23.
49. Murray PE, Garcia-Godoy F, Hargreaves KM. Regenerative endodontics: a review of current status and a call for action. *J Endod*, 2007;33: 377–390.
50. Glynis, A, Foschi F, Kefalou I, Koletsi D, Tzanetakis GN. Regenerative Endodontic Procedures for the Treatment of Necrotic Mature Teeth with Apical Periodontitis: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *J Endod* 2021;47: 873–882
51. Kim SG, Malek M, Sigurdsson A, Lin LM, Kahler B. Regenerative endodontics: a comprehensive review. *Int Endod*, 2018;51: 1367–1388.
52. Nygaard-Ostby B. The role of the blood clot in endodontic therapy. An experimental histologic study. *Acta Odonto Scandi* 1961;19: 324–353.
53. Iwaya SI, Ikawa M, Kubota M. Revascularization of an immature permanent tooth with apical periodontitis and sinus tract. *D Trau* 2001; 17: 185–187.
54. Huang GT, Lin LM. Letter to the editor: comments on the use of the term "revascularization" to describe root regeneration. *J Endod* 2008;34: 511–512.
55. Galler KM, Krastl G, Simon S, et al. European Society of Endodontology position statement: Revitalization procedures. *Int Endod J* 2016;49: 717–723.
56. Nakashima M, Akamine A. The application of tissue engineering to regeneration of pulp and dentin in endodontics. *J Endod* 2005;31: 711–718.
57. Mao JJ, Kim SG, Zhou J. et al. Regenerative endodontics: barriers and strategies for clinical translation. *D Clin North A* 2012;56: 639–649.
58. Yan H, De Deus G, Kristoffersen IM. et al. Regenerative endodontics by cell homing: a review of recent clinical trials. *J Endod* 2023;49: 4-17.