

PAPER DETAILS

TITLE: Süt dislerinde pulpa ve dentinin histolojik yapısal özellikleri

AUTHORS: Gözdem ÖZÇOBANOGLU, Leyla DURUTÜRK

PAGES: 99-109

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/74115>

Derleme

Süt dişlerinde pulpa ve dentinin histolojik yapısal özellikleri

Gözdem Özçobanoğlu*, Leyla Durutürk*Pedodonti Anabilim Dalı, Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Ankara, Türkiye***ÖZET**

Bugün diş çürüğünden korunmada kaydedilen modern ilerlemelere ve doğal dişlenmeyi korumanın öneminin artarak idrak edilmesine rağmen, özellikle süt dişleri olmak üzere halen birçok diş erken kaybedilmektedir. Bu kayıplar maloklüzyona yol açabilmekte veya geçici ya da kalıcı olabilen estetik, fonetik ve fonksiyonel problemler oluşturabilmektedir. Oral dokuların devamlılığının ve sağlığının korunması pulpa tedavilerinin birincil hedefidir. Pulpa vücudtaki diğer gevşek bağ dokularına benzemekle birlikte bazı açılardan farklılık göstermektedir. Süt dişi dentin kalınlığının sürekli dişlere oranla daha az olması, dentin tübüllerinin daha geniş olması, dentin içinde geniş kanallar bulunması nedeniyle dentin geçirgenliğinin fazla olması ve kök rezorpsiyonu ile birlikte vasküler, hücrel ve nörolojik yapıda değişiklikler göstermesi bakımından sürekli dişlerin dentin ve pulpa yapısından farklılık gösterirler. Süt dişlerinde bu farklılıkların bilinmesi, pulpa patolojilerinin doğru analiz edilmesi ve pulpa hastalıklarında uygulanacak tedavi yönteminin doğru belirlenebilmesi için gereklidir.

ANAHTAR KELİMELEER: Dentin; diş pulpası; pedodonti; süt dişi**KAYNAK GÖSTERMEK İÇİN:** Özçobanoğlu G, Durutürk L. Süt dişlerinde pulpa ve dentinin histolojik yapısal özellikleri. *Acta Odontol Turc* 2013;30(2):99-109*[Abstract in English is at the end of the manuscript]***Giriş**

Süt dişlerinin pulpa hastalıklarında uygulanacak tedavi yönteminin doğru belirlenebilmesi için süt dişi pulpasının gerek ilerleyen çürük lezyonuna gerekse vital pulpa tedavilerine karşı vereceği cevabının doğru analiz edilmesi gerekir. Bunun için de süt dişi pulpasının normal gelişim sürecindeki yapısal ve fonksiyonel özelliklerinin iyi bilinmesi gerekir.¹ Ancak, süt dişi pulpasının histolo-

jik özelliklerini tanımlamak için önce sürekli diş pulpasının genel özelliklerini bilmek, süt dişine özgü farklılıkları ise buna göre tarif etmek daha doğru olacaktır.

Pulpa dokusunun anlaşılabilmesi için dentin dokusunun da iyi bilinmesi gerekir. Zira, yapı ve kompozisyonlarındaki farklılıklara rağmen, pulpa-dentin kompleksi olarak tanımlanan bu iki dokunun birbiriyle yakın ilişki içinde olduğu ve birinde meydana gelen fizyolojik ve patolojik reaksiyonların diğerini de etkilediği görülür.²⁻⁵

Bu nedenle, derlemede dentin ve pulpanın bir arada değerlendirilmesi daha doğru bir yaklaşım olarak benimsenmiştir.

DENTİN

Dentinin yaklaşık %70'i inorganik maddelerden, %20'si organik matriksten, %10'u ise sudan oluşmaktadır. En önemli inorganik komponent hidroksiapatit [Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂]. Organik matriksin %90'ı ise kollajendir.⁶ Organik matriksin geri kalan %10'luk kısmını ise fosfoproteinler, proteoglikanlar, asidik glikoproteinler, büyüme faktörleri ve yağlar oluşturur.⁷ Süt ve sürekli diş dentini morfolojik yapı ve histolojik özellikleri bakımından birbirine benzemekle birlikte⁸ süt dişinde dentinin prenatal ve postnatal olmak üzere iki tabakadan oluştuğu ve prenatal dentinin yoğun ve homojen yapısına karşılık postnatal dentinin daha az yoğun ve daha pöröz bir yapı gösterdiği görülür.⁷

Dentin tipleri

Diş gelişimi sırasında oluşan dentine primer dentin adı verilir ve büyük bir kısmı dişin sürmesinden önce oluşmaktadır. İlk oluşan dentin manto dentindir. Mine ya da sementin hemen altında, primer dentinin tabakasının en üstünde yer alır. Kalınlığı ancak 150 µm'dir. Altaki dentine göre daha az mineralize olduğundan daha yumuşak bir yapıdadır.^{3,6} Odontoblastlar primer dentini yaptıktan ve diş sürdükten sonra ağır ağır dentin yapmaya devam ederken dentin içinde uzantılarını bırakarak dentin tübüllerini oluştururlar. Dentin tübüllerinin içinde odontoblast uzantılarının bulunması dentinin canlı bir doku olduğunu gösterir.^{3,9}

Makale gönderiliş tarihi: 04 Temmuz.2011 ; Yayına kabul tarihi: 09 Şubat 2012

*İletişim: Gözdem Özçobanoğlu, Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Pedodonti Anabilim Dalı, Beşevler, Ankara, Türkiye;
e-posta: gozdemoz@hotmail.com

Kök gelişimi tamamlandıktan sonra oluşan dentin ise sekonder dentindir.³ Sekonder dentin ve primer dentin aynı odontoblastlar tarafından oluşturulduğu için tübül yapının devamlılık gösterdiği görülür. Aralarındaki en önemli fark sekonder dentinin primer dentine oranla daha yavaş salgılanmasıdır.

Tersiyer dentin, kimyasal irritanlar, çürük, restoratif işlemler, atrizyon ve diğer travmalar gibi değişik uyaranlara cevaben dişin hayatı boyunca şekillenen dentin matriksidir. Tersiyer dentin; irritasyon dentini, irregüler sekonder dentin, reaksiyoner dentin ya da reperatif dentin olarak da adlandırılmaktadır.⁶

Predentin, odontoblast tabakası ile mineralize dentin arasında bulunan, mineralize olmamış organik matrikstir. Makromoleküler yapısı tip I ve tip II trimer kollajenden, geri kalan kısmı ise proteoglikanlardan, glikoproteinlerden, GAGs'dan (glikozaminoglikanlar), gla proteinlerinden ve dentin fosfoproteininden oluşmaktadır.^{7,10} Predentin tabakası, süt dişlerinde koronal bölgeden kökün orta üçlüsüne doğru giderek azalmakta ve apikal bölgede kaybolmaktadır.¹¹

Mineralizasyon

Dentin matriksinin mineralizasyonu manto dentininin yapımı ile başlamaktadır. Kalsiyum fosfat kristalleri, predentin içerisindeki odontoblastların sitoplazmik uzantılarındaki matriks kesecikleri içinde birikmeye başlar. Hidroksiapatit kristalleri hızla büyürken kesecikler de yırtılmaya başlar. Salınan kristaller bitişikteki keseciklerin kristalleri ile küçük globüller oluşturmak için birleşirler. Hidroksiapatit kristalleri, kollajen fibrillerin üzerine ve içine lokalize olduğundan mineralizasyon kollajen fibriller boyunca matriks tamamen mineralize olana kadar yayılarak devam eder.³

Mineralize globüllerin birbirleri ile birleşmediği alanlarda organik matriksin mineralize olmadan kaldığı görülür. İnterglobüler dentin olarak isimlendirilen bu kısımlar genellikle manto dentinin hemen altındaki sirkumpulpal dentinde oluşur.³

Prenatal dönemde fetüsün gereksinimlerinin en üst düzeyde sağlanması nedeniyle bu dönemde dentin kalsifikasyonunun daha homojen olduğu dolayısı ile süt dişlerinde interglobüler dentine rastlanmadığı ve interglobüler dentinin postnatal dentine ait bir yapısal özellik olduğu belirtilmektedir.¹²

Dentin tübülleri

Odontoblastik uzantıların etrafında oluşan dentin tübülleri, materyallerin dentine geçişini sağlayan ana kanallardır. Dentin-mine ve dentin-sement birleşiminden pulpaya kadar tüm dentini baştanbaşa geçen tübüller dentin-mine birleşiminden pulpaya doğru hafif bir S çizerek uzanırlar. Pulpa odası yüzeyi, dentin-mine birleşim bölgesindeki dentin yüzeyine göre daha az yer kapladığından tübüllerin pulpaya yaklaştıkça birbirine yaklaşması ve tübül çaplarının da pulpaya doğru giderek genişlemesi bu bölgede tübül yoğunluğunun artmasına neden olmaktadır.^{3,6} Nitekim, yüzeysel dentinin %1'i tübüller yapıda iken bu oranın derin dentinde %30'a ulaştığı görülür.^{5,13}

Süt dişlerinde ise tübül yoğunluğunun sürekli dişlere oranla daha fazla olduğunu, tübül çaplarının da sürekli dişlere oranla daha geniş olduğunu ileri süren araştırmacılar olduğu gibi⁸ tübül yoğunluğunun daha az olduğunu ve peritübüler dentinin daha kalın olması nedeniyle tübül çaplarının da daha dar olduğunu savunan araştırmacılar da vardır.^{14,15} Dentin tübüllerinin doğrultusunun ise sürekli dişlerde kıvrıntılı iken süt dişlerinde düz olduğu bildirilmiştir.^{16,17}

Süt dişlerinde geniş kanallar

Süt dişlerinde, intertübüler matriks içerisinde dentin tübüllerine paralel olarak konumlanmış geniş kanallar olduğu gözlenmiştir. Bu kanalların çapları dentin tübüllerinin çaplarından yaklaşık 10 kat daha fazla olup peritübüler dentin benzeri bir yapı ile çevrelenmiştir. Dentin tübüllerinden farklı olarak bu kanallarda odontoblast uzantısı olmadığı ancak içlerinde mineralize kollajen lifler bulunduğu belirtilmektedir. Çalışmalar, geniş kanalların süt dişlerinde sürekli dişlere oranla daha fazla bulunduğunu göstermektedir. Süt ve sürekli dişler arasındaki bu yapısal farklılıklar nedeniyle süt dişlerinin geçirgenliğinin ve duyarlılığının arttığı ve dış etkilere daha kolay etkilenir hale geldiği görülmektedir.¹⁸

Peritübüler dentin

Tübülleri saran dentin peritübüler dentin, tübüller arası dentin ise intertübüler dentin olarak adlandırılmaktadır.

Peritübüler dentin matriksinin, odontoblast hücrelerinde bulunan salgı kesecikleriyle odontoblast uzantılarına taşındığı ve buradan da pinositoz yolu ile salgılandığı düşünülmektedir.³ İntertübüler dentine oranla peritübüler dentin matriksinin daha az kollajen, daha fazla proteoglikan ve mineral içerdiği ve bu nedenle intertübüler dentine oranla yaklaşık 5 kat daha sert olduğu görülür.¹⁹ Ancak, peritübüler dentinin bu özelliğinin intertübüler dentine ek bir destek sağlamadığı belirtilmektedir.²⁰ Peritübüler dentin kalınlığının ise süt dişlerinde sürekli dişlerdekine oranla 2-5 kat daha fazla olduğu gözlenmiştir.¹⁵

İntertübüler dentin

Dentinin büyük kısmını tübüller arasında yer alan intertübüler dentin oluşturmaktadır. Organik matriks 50 ile 100 nm çapında kollajen lifler içerir. İyi mineralize olmuş bu liflerin dentine gerilme kuvveti sağladığı görülmür.³

Dentin sıvısı (dentin lenfi) ve dentin geçirgenliği

Dentin sıvısı hacim olarak yüzeyel dentinin %1'ini, derin dentinin ise %22'sini oluşturmaktadır.⁵ İçeriği birçok açıdan plazma sıvısına benzeyen bu sıvı pulpadaki terminal kapillerlerden gelir ve odontoblastlar arasından sızarak mine-dentin sınırına kadar ulaşır.^{3,21,22} Dentin sıvısının dışarıya doğru olan bu hareketi yaklaşık olarak 0.02 nl/sn/mm²'dir. Ancak bu değer dentin duyarlılığından sorumlu olan sinirlerin uyarılması için yeterli değildir. Sinirlerin uyarılabilmesi için sıvı hareketinin 1-1.5 µl/sn/mm²'lik eşik değere ulaşması gerekmektedir.²³

Pulpa içi basıncında meydana gelen değişikliklerin yanı sıra dentin tübül girişlerinin açık ya da kapalı olması kapiller sıvının hareketini etkileyebilmektedir. Nitekim, pulpa içindeki interstisyel sıvı basıncı atmosfer basıncına oranla yüksek olduğundan, travma ya da kavite preperasyonu gibi dentinin açığa çıkmasına neden olan durumlarda tübül içindeki sıvının ani bir hareketle dentin yüzeyine doğru hareket ettiği ve bunun odontoblastlar arasındaki sinir liflerini aktive ederek ağrıya yol açtığı görülür.^{9,24} Dentin yüzeyinin basınçlı hava, kuru ısı ya da emici kağıtlar ile kurutulması, yüksek konsantrasyonda sakkaroz, kalsiyum klorit veya asit gibi dehidratasyon yapan solüsyonların uygulanması da sıvının dışarıya doğru hareketini hızlandırabilmektedir.^{25,26} Soğuk uygulandığında ise sıvı büzüştüğünden tübül içindeki boşluğu doldurmak üzere yine pulpadan dentine doğru bir sıvı hareketi meydana geldiği görülür. Bu durum, sıvı ile birlikte odontoblastların da tübül içine çekilerek parçalanmasına neden olmaktadır. Odontoblastların bu şekilde yer değiştirmesi, dentin tübülleri içinde hidrolik basıncı arttıran faktörlerden biri olarak düşünülmektedir. Sıcak uygulamasında ise tübül içindeki sıvının genişleyerek pulpaya doğru hareket ettiği görülür. Dentin yüzeyinin sondla muayenesinin de tübül içinde sıvı hareketine neden olduğu belirtilmektedir. Tübül sıvısının bu şekilde ileri-geri hareketinin pulpa-dentin sınırındaki odontoblastlar üzerinde sonlanmış sinir uçlarını mekanik olarak etkilediği ve sinir hücrelerinin mekanoreseptör olarak görev yaptığı, binlerce tübülün olaya katılmasıyla da çok sayıda sinir hücrelerinin uyarılarak kümülatif bir etki oluşturduğu düşünülmektedir.²⁷

Dentin sıvısının yayılımının tübül çapı ve sayısı ile orantılı olması, tübüllerin çap ve sayılarının ise pulpaya yaklaştıkça artması nedeniyle dentin geçirgenliğinin pulpaya yaklaştıkça arttığı görülür.^{3,5}

Dentin tübüllerinde bulunan odontoblastik uzantılar, kollajen lifler ve tübül iç yüzeyini çevreleyen lamina limitans tabakası (peritübüler dentini çevreleyen membran) nedeniyle tübüllerin fonksiyonel ve fizyolojik çaplarının daraldığı ve bunun dentin geçirgenliğini azalttığı görülür.^{3,28} Nitekim, tübüllerin fizyolojik çaplarının anatomik

çaplarının ancak %5'i ile %10'u kadar olduğu ve bu durumun bakterilerin tübüllerden geçmesini engellediği belirtilmektedir.²⁹⁻³¹

Peritübüler dentinin kalınlaşması, tübül içinde mineral birikimi, tübülün organik içeriğinin artması ya da dentin yüzeyinin mineralizasyonu gibi nedenler sıvı iletimini azalttığından dentin duyarlılığını da azaltmaktadır.⁹ Bunun yanı sıra, kavite ve kök kanal preperasyonu sırasında dentin yüzeyinde oluşan smear tabakanın da tübül ağzlarını tıkayarak dentin geçirgenliğini azalttığı ve bakteri girişini engelleyebildiği belirtilmektedir. Asitleme sonucu smear tabakanın kaldırılması tübül ağzlarının açılmasına ve dentin geçirgenliğinin artmasına neden olmaktadır.³

Dentin geçirgenliğinin vital ve devital dişler arasında da farklı olduğu, vital dişlerde tübül içlerinde odontoblast uzantılarının bulunması ve tübül sıvısının dışa doğru hareket etmesi nedeniyle mikroorganizmaların tübül içine giremediği³² ayrıca pulpadaki antikor ya da antimikrobiyal ajanların yine sıvı hareketiyle tübül içine taşınarak pulpa savunmasına katıldıkları belirtilmektedir.³¹

PULPA

Pulpanın tabakaları

Pulpa dört tabakadan oluşur. Bu tabakalar dıştan içe; odontoblastik tabaka, hücreden fakir tabaka, hücreden zengin tabaka ve pulpa merkezidir.

Odontoblast tabakası

Pulpanın en dış tabakası olup predentinin hemen altında bulunur. Esas olarak odontoblast hücrelerinin gövdesinden ve hücreler arasında terminal kapillerle sinir liflerinden oluşur.^{3,11}

Pulpanın koronal kısmındaki odontoblastlar kollajen sentezi yaparak mineralize olabilen dentin matrisini meydana getirirler.^{9,33} Kollajene ek olarak odontoblastların proteoglikan, dentin sialoproteini ve phosphophoryn sentezledikleri de görülür.^{7,8,34} Phosphophoryn dentine özgü olup diğer mezenşimal hücrelerde bulunmaz.³⁵ Odontoblastlar ayrıca mineralizasyonla bağlantılı olan asit fosfataz ve alkalın fosfataz enzimlerini salgılar. Alkalın fosfatazın dentinogenezdeki rolü tam olarak anlaşılamamasına karşılık lizozomal bir enzim olan asit fosfatazın predentin matrisi tarafından resorbe edilen materyallerin parçalanmasında görev aldığı bilinmektedir.³

Hücreden fakir tabaka

Odontoblast tabakasının altında, yaklaşık olarak 40 µm genişliğindeki hücre içermeyen tabakadır. İçerisinde kapiller damarlar, miyelinsiz sinir lifleri ve fibroblastların in-

ce sitoplazmik uzantıları bulunur.^{2,3} Bu tabakadaki duysal sinirlerin dendritik uzantıları spesifik ağı reseptörleri olup odontoblast tabakası içine girer. Bunların %10-20'si ise odontoblastların arasından geçerek dentin tübüleri içine kadar uzanır ve orada sonlanır.²² Ancak, hücreden fakir tabakanın mevcudiyeti pulpanın fonksiyonel durumuna bağlıdır. Nitekim, hızlı bir şekilde dentin yapan genç pulpalarla reparatif dentin yapımı görülen yaşlı pulpalarda bu tabaka görülmez.³ Bu nedenle süt dişlerinde bu tabakanın varlığından bahsedilmemektedir.¹¹

Hücreden zengin tabaka

Sürme sırasında pulpanın merkezinde bulunan hücrelerin periferi hareket etmesi sonucu oluştuğu³⁶ ve çok sayıda fibroblast hücrelerinin yanı sıra makrofaj, lenfosit, dendritik hücre, diferansiye olmamış mezenşimal hücre ve kök hücresi içerdiği görülür. Odontoblastların ölmesi, diferansiye olmamış mezenşimal hücrelerin mitotik aktivitesini artırır.³ Bu hücreler hasara uğramış odontoblastların yerine yeni odontoblastların oluşmasını sağlar.^{37,58}

Pulpa merkezi

Bu tabakada büyük kan damarları ve sinirler bulunmaktadır. Bağ dokusu hücrelerini ise fibroblastlar ve pulpa hücreleri oluşturmaktadır.³

Pulpanın Hücreleri

Odontoblastlar

Odontoblastlar hem dişlerin gelişimi sırasındaki, hem daha sonra devam eden dentin formasyonundan sorumlu olduğu için dentin-pulpa kompleksinin en önemli hücrelerinden biridir. Pulpanın periferinde tek tabaka halinde bulunurlar ve gevşek bağ dokusu karakterindeki pulpayı predentininden ayırırlar. Koronal pulpada uzun silindirik şeklinde olan bu hücreler özellikle pulpa boynuzlarında çok sayıda olmaları nedeniyle sıkışık olarak dizildiklerinden çok katlı gibi görünürler. Odontoblastların boyları birbirinden farklı olup çekirdekleri de aynı seviyede değildir. Olgun kron pulpasında genellikle silindirik şeklinde iken kök pulpasının orta üçlüsünde daha çok kübik şekilde görülürler. Kökte krona oranla birim alanda daha az tübül bulunması ve odontoblast hücrelerinin daha geniş alana yayılabilmesi nedeniyle apikal foramene doğru giderek yassılaşırırlar.³⁹

Hücreler arasında yaklaşık olarak 30 ile 40 µm boyutunda küçük boşluklar ve komşu odontoblastlar ile bağlantıyı sağlayan özel oluşumlar vardır. Bunlar desmozomlar, geçirgen (gap junction) ve sıkı bağlantılardır (tight junction).⁴⁰

Geçirgen bağlantılar, konneksin proteinleri tarafından oluşturulur ve hücreden hücreye küçük moleküllerin geçişine izin verirler. Bu moleküllerin, odontoblastları ak-

tive ederek yeni matriks salgılanmasını ve mineralizasyonu sağladıkları düşünülmektedir. Primer dentin yapımı sırasında bu bağlantıların arttığı gözlenir. Sıkı bağlantılar ise genellikle odontoblastların apikal kısmında yer alır ve hücreler arası bölgeden herhangi bir molekül ya da sıvının geçişine engel olur.

Hücre sitoplazması içinde golgi organı, granüler endoplazmik retikulum (GER), salgı granülleri ve çok sayıda mitokondri bulunur. Ayrıca bu hücreler RNA'dan zengin olup çekirdeklerinde bir ya da daha fazla çekirdekçik bulunur. Aktif odontoblastlar dört ya da daha fazla çekirdekçikten oluşan büyük bir çekirdeğe sahiptir. Çekirdekler hücrenin bazal kısmına yerleşmiş ve çekirdek zarı ile sarılmıştır. Çekirdeğin üstünde sitoplazmanın merkezine konumlanmış ve iyi gelişmiş bir golgi kompleksi vardır. Çok sayıda mitokondri hücre gövdesine eşit bir şekilde dağılmıştır. Belirgin bir endoplazmik retikulum vardır. Bunlar birbirine paralel ve yakın olarak dizilmiş sisternalardan oluşup hücre içine yayılmışlardır. Sisternaların membranına bitişmiş çok sayıda ribozom vardır. Bunlar protein sentezinin yapıldığı yerlerdir.³

Kök gelişimi tamamlandıktan sonra inaktif hale geçen odontoblastların boylarının kısaldığı ve hücre organellerinin sayısında azalma olduğu görülür.³⁹

Odontoblastik uzantı

Dentin tübüllerinin her biri ana odontoblastik uzantının çevresinde oluşur. Zira, bu uzantılar tübülün çevresindeki peritübüler dentin yapımında rol oynar. Uzantıların çapları predentin ile pulpa sınırında 3 ile 4 µm iken tübül içerisinde ilerledikçe daralır ve 1 µm'ye kadar düşer.^{3,41} Odontoblast uzantıları yan dallarla birbirine bağlanırlar. Bu bağlantılar hücreler arası iletişimi sağlayarak hücreler aktivitelelerinin birbiriyle uyumlu bir şekilde yürütmesini, matriks bileşenlerinin taşınmasını, sıvı ve metabolit akımını düzenler.³ Ancak, bu bağlantılar çürük asitlerinin dentin içinde yayılmasını hızlandırarak etki alanlarının genişlemesini de kolaylaştırmaktadır.²²

Odontoblast uzantıları doğrudan hücre uzantısı olduğu için plazma membranının kesintiye uğramadan uzantının etrafını sararak devam ettiği görülür. Ancak, odontoblast uzantılarının mikrotübüller ve mikrofilamentlerden ibaret olduğu ana hücrede bulunan organellerin odontoblast uzantılarında bulunmadığı görülür.^{9,42}

Mikrotübüller hücre gövdesinden uzantı içine girerek hücre eksenine paralel ilerler ve hücre yapısını sağlamlaştırır.^{9,43} Görevleri tam olarak bilinmese de peritübüler matriks bileşenlerinin taşınmasını sağladığı ve odontoblastik uzantıların iskeletini oluşturdukları iddia edilmektedir.³ Mikrofilamentlerin ise uzantı içinde destek sağlayan oluşumlar olduğu ileri sürülmektedir. Bunun yanı sıra, bütün uzantı boyunca sitoplazma içinde gözlenen salgı veziküllerinin de dentin matriks oluşumu için taşıyıcı sistem olarak çalıştıkları düşünülmektedir.²² Ni-

tekim, kollajenin öncü moleküllerinin bu veziküllerle Golgi keseciklerinden odontoblast uzantılarına taşındığı ve buradan predentine boşaldığı gösterilmiştir.²⁷

Dentin tübül duvarı ile odontoblastik uzantıların plazma membranı birbirine çok yakın olup arada kalan kısım periodontoblastik alan olarak adlandırılır.⁴² Periodontoblastik alan tübül sıvısı ile doludur ve bu sıvı içinde bulunan sinirlerin odontoblast uzantıları ile çok yakın temasta bulunduğu ve sinir uçlarının odontoblastlar üzerinde sonlandığı ileri sürülerek tübül içindeki sıvı hareketinin bu sinir liflerinde impuls oluşturduğu söylenir.²³

Odontoblastik uzantıların tübül içinde nereye kadar uzandığı konusunda fikir birliği yoktur. Bu uzantıların, dentin-mine sınırına kadar uzandığını belirten araştırmacılara karşılık^{44,45} bunların dentinin 1/3'üne kadar ulaştığını ileri süren araştırmacılar da vardır.^{12,46,47}

Fibroblastlar

Pulpada en fazla bulunan hücreler fibroblastlardır. Jelatin yapısındaki interselüler (hücre içi) matriksin yapımından sorumludurlar. Bu hücreler tip I ve tip III kollajenin yanı sıra proteoglikanları, fibronektinleri ve GAG (glikozaminglikanları) sentezlemektedir. Bu şekilde ekstraselüler (hücre dışı, ECM) matriks proteinlerini üretirler. Fibroblastlar kollajenleri fagosite edip sindirebildiklerinden dolayı pulpadaki kollajen yapım ve yıkımından da sorumludurlar. Genç fibroblastlar ise mitozise uğrayarak odontoblastlara diferansiye olabilmeleri nedeniyle pulpanın vitalitesi ve yaşının fibroblastların sağlıklı olmasına bağlı olduğu kabul edilir. Nitekim, pulpadaki kollajen liflerin artışının fibroblast sayısındaki azalmayla paralel olduğu görülmektedir.

Fibroblastlar pulpa boyunca yayılmış olsalar da esas olarak hücreden zengin tabakada bulunurlar. İlk diferansiye olan fibroblastlar poligonal şekildedirler ve ECM içerisine eşit olarak dağılmışlardır. Hücreler birbirleriyle uzantıları aracılığı ile ilişki kurarlar. Olgunlaşmamış fibroblastların organelleri çok belirgin değildir. Organeller olgunlaştığında hücreler protein sentezi yapan hücrelerin karakteristik görünüşüne sahip olurlar.³

Kök rezorpsiyonu başlamamış süt dişi pulpasındaki fibroblastların sürekli diştekinе benzer yapıda oldukları ancak fizyolojik kök rezorpsiyonu ile birlikte fibroblastlarda sitoplazmik değişikliklerin ortaya çıktığı ve hücre iskeletinin modifiye olduğu görülür.⁴⁸

Makrofajlar

Makrofajlar, monosit ve lenfositlerden diferansiye olarak kan dolaşımı ile pulpaya gelirler.⁴⁹ Dokulara girerler ve çeşitli alt kümelere farklılaşırlar. Birçoğu kan damarlarının yakınında bulunur. Makrofajların büyük kısmı aktif olarak endositoz ve fagositoz yapar. Fagosite ettikleri maddeleri lizozomal enzimlerle parçalarlar.³ Fagositoz

yapmayan makrofajlar ise antijenleri tanıyarak ve yüzeylerindeki MHC (major histocompatibility complex) sınıf II molekülü ile aldıkları antijenleri bellek T hücrelerine sunarak immün reaksiyonda yer alırlar.^{5,50} Makrofajlar inflamatuvar uyarı ile aktive edildiklerinde IL-1 (interlökin-1), TNF (tümör nekrotize edici faktör), büyüme faktörleri ve bazı sitokinler gibi maddeleri de üretebilmektedirler.³ Ancak makrofajlar aktif durumlarını 1 hafta korurlar ve daha sonra yerlerini yeni makrofajlar alır.⁴⁹

Dendritik hücreler

Antijen sunucu hücreler olarak adlandırılan bu hücreler immün sistemin yardımcı hücreleridir.³ Dendritik hücreler öncelikle lenfoid dokularda bulunur ancak pulpa dahil olmak üzere tüm bağ dokularına dağılmışlardır. Bu hücreler dendritik stoplazmik uzantıları ve hücre membranı üzerinde MHC sınıf II molekülü bulundurmaları ile karakterizedirler. Dendritik hücrelerin bir kısmı odontoblast tabakasına yakın kısımlarda bulunurlar ve sitoplazmik uzantılarının dentin tübüllerinin içine girdiği görülür.⁵¹ Diğerleri ise pulpanın orta kısımlarında lokalize olmuşlardır. Pulpada tamir ve immünolojik savunma reaksiyonlarında rol oynadıklarından sayıları inflamasyon sırasında artar.⁹ Bu hücrelerin, antijen sunucu makrofajlar gibi protein antijenlerini içlerine alıp parçalayarak MHC sınıf II molekülü aracılığı ile T-lenfositlere sundukları ve böylece T-hücrelerinin indüklenmesinde önemli bir role sahip oldukları bilinmektedir.³

Lenfositler

Sağlıklı pulpada T-lenfositlerin mevcudiyeti gösterilmiştir.⁵² T-lenfositler, makrofajlar ve dendritik hücrelerin varlığı pulpanın immün cevabı başlatmak için gerekli olan hücre donanımına sahip olduğunu göstermektedir.^{51,53} B lenfositler ise sağlıklı pulpada az sayıda bulunmaktadır.⁵⁴

Polimorfonüklear lökositler

Sağlıklı pulpada çok ender görülürler.⁹

Mast hücreleri

Mast hücreleri bağ dokusu içerisinde özellikle kan damarları ile ilişkili olarak küçük gruplar halinde bulunurlar. Bu hücreler kronik inflamasyonlu pulpa dokusunda bulunmasına rağmen normal pulpa dokusunda seyrek olarak bulunur.⁵¹ Mast hücreleri inflamasyondaki rolleri nedeniyle oldukça önemli hücrelerdir. Bu hücrelerin granülleri birçok kimyasal faktörün yanında heparin, antikoagülan ve histamin gibi inflamatuvar reaksiyonda önemli olan mediatörler içermektedir.³

Diferansiye olmamış mezenşimal hücreler

Diferansiye olmamış mezenşimal hücreler hücreden zengin tabakada ve pulpa merkezinde kapiller damarlar boyunca yaygın olarak bulunan yıldız şeklindeki hücre-

lerdir. Işık mikroskobu altında fibroblastlardan ayrılması zordur. Gereksinim olduğunda diferansiye olarak fibroblastlara ya da odontoblastlara dönüşürler. İnflamasyon durumunda ise makrofajlara ve osteoklastlara dönüşürler. Yaşlı pulpalarda sayılarının azalmasına bağlı olarak pulpanın tamir kapasitesinin de azalacağı öngörülür.^{3,22}

Ekstraselüler matriks

Ekstraselüler matriks (ECM) fibroblastlar tarafından sentez edilen kollajen lifler ve jelatine benzer amorf bir ana madde matriksi ile kapillerden gelen hücreler arası doku sıvısından ibarettir.²² Bu yapı içinde hücreler, kan damarları ve sinirler bulunur.^{22,55}

Ekstraselüler matriksin ana maddesi esas olarak mukopolisakkaritlerden oluşmuştur. Bunlar son derece asidik olduklarından 'asit mukopolisakkaritler' olarak tanımlanırlar. Bir protein molekülüne kovalent bağlarla bağlı olan polisakkarit ve glikozaminoglikanlardan (GAG) oluşmuştur. Bunlara 'proteoglikan' da denmektedir. Mukopolisakkarit molekülleri iyi polimerize olduklarından birbirlerine sıkıca bağlıdırlar. Bu özellikleri nedeniyle ana madde şişkin bir görünüme ve yapışkan bir jel niteliğine sahiptir. Pulpanın ekstirpe edildikten sonra da şeklini koruması bundan kaynaklanır. Mukopolisakkarit molekülleri hidrofilik olduğu için ana madde içinde su tutulmasını sağlar. Ana madde içindeki bu uzun polisakkarit zincirleri tüy gibi yayıldığından molekülün yüzey alanı genişlemekte, bu da fazla miktarda su tutulumuna neden olmaktadır.²² Genç pulpanın ECM'sinin içerdiği su miktarı oldukça fazla olduğundan (yaklaşık %90) hem dişlerin damarsal yapılarını ve hücrelerini koruyan bir yastık görevi görmekte hem de yüksek basınçlara karşı pulpayı koruyabilmektedir.⁵⁶ ECM içinde tutulan suyun suda çözünen metabolitlerin ve atıkların ortamdaki geçişini sağladığı görülür. Ancak, mukopolisakkarit molekülleri fazla polimerize oldukları zaman ana maddenin viskozitesinin arttığı ve bunun ECM'nin geçirgenliğini azalttığı, aksine polimerizasyonun az olduğu durumlarda ise ana maddenin viskozitesindeki azalmaya bağlı olarak geçirgenliğinin arttığı görülür. Bunun yanı sıra ECM, büyük moleküllerin geçişini engelleyen bir elek gibi davranmakta ve mikroorganizmalarla toksinlerinin yayılmasına karşı bir bariyer görevi görmektedir.

Ana madde içindeki bu sıvının serbest halde olmayıp ana maddenin jel yapısı içinde bağlı olduğu ancak ana maddenin herhangi bir nedenle zedelendiği ya da inflamasyon durumunda bu polisakkarit zincirlerinin depolimerize olduğu ve ana maddenin yapısının bozulmasıyla suyun serbest kaldığı görülür. Bu durumda, mikroorganizmalar ve toksinlerinin yayılmasına karşı bariyer görevi gören ana maddenin bu fonksiyonunun bozulması beklenir.²²

Pulpadaki başlıca proteoglikanlar hyaluronik asit, dermatan sülfat, heparan sülfat ve kondroitin sülfattır. Kollajenin formasyon ve organizasyonu, enfeksiyon, inflamasyon, yara iyileşmesi, hücre proliferasyonu ve kalsifikasyonda rol oynarlar.⁵⁵ Pulpa dokusundaki proteoglikan miktarı diş erüpsiyonu ile birlikte yaklaşık %50 oranında azalmaktadır.³⁴ Aktif dentinogenez sürecinde görev alan en önemli proteoglikan, kondroitin sülfattır. Özellikle odontoblast ve predentin tabakalarında bulunur ve mineralizasyonda önemli rol üstlenir. Dişin sürmesiyle birlikte hyaluronik asit ve dermatan sülfat miktarında artış olurken kondroitin sülfatın önemli ölçüde azaldığı görülür.³

Pulpanın bağ doku lifleri

Memelilerde hücreler arası bağ dokusunun en büyük proteini kollajendir. Başlıca görevi pulpa dokusuna destek olmaktır.

Kollajen; protein yapısı bakımından tropokollajen olarak bilinen 300.000 molekül ağırlığındaki tek bir makromolekülden oluşur. Bu molekül heliks bir yapı içinde düzenlenmiş ve her biri 1000 aminoasit içeren 3 polipeptid zincirinden oluşmuştur. Kollajen fibriller, tropokollajen moleküllerinin ucuca polimerize olmalarıyla oluşurlar ve olgun kollajen fibrilleri arasında 640 Å'lık boşluklar bulunur.³

Dentin kollajeni Tip I kollajendir ve odontoblastlar tarafından yapılır. Pulpa kollajenleri ise Tip I ve Tip III karışımıdır. Odontoblastlar ve fibroblastlar tarafından oluşturulurlar.²²

Kollajen lifler, yoğun olarak koronal pulpada hücreden zengin tabakanın altında ve kan damarlarının etrafında 60 Å'lık demetler halinde bulunurlar. Argirofil, retiküler, prekollajen veya Van Korff lifleri olarak isimlendirilen olgunlaşmamış kollajen lifler ise genç dişlerin pulpasında çok sayıda ve yaygın olarak bulunurlar. Bunlar çok ince olup 640 Å'lık bandlaşma göstermezler⁴⁹ ancak yaşla birlikte uzayıp kalınlaşarak olgunlaşırlar. Bu fibrillerde bulunan alkalen fosfataz enziminin Van Korff liflerini bir arada tutan asit mukopolisakkaritlerin yapısında rol oynadığı düşünülmektedir. Asit mukopolisakkaritlerin kollajen moleküllerinin kümeleşmesini sağladığı gibi katyonları bağlama özellikleri nedeniyle mineralizasyon için çekirdek oluşturabilecekleri de ifade edilmektedir. Kollajen lifler bir kere oluştuğundan sonra pulpadan uzaklaşmadıkları için yaşlanmaya bağlı olarak pulpa içinde kollajen birikimi artmaktadır.²²

Pulpanın damarsal yapısı

Pulpada gerçek arter ve venler bulunmadığı için pulpadaki en geniş damarlar arteriyoller ve venüllerdir. Bu nedenle pulpadaki kan dolaşımı gerçek bir mikrodolaşımdır. Pulpada kollateral dolaşım sistemi olmadığı için pulpanın kanlanması sadece apikal forameninden giren yaklaşık

100 µm çapındaki arteriyoller ile yan kanallardan giren daha küçük damarlardan sağlanır.^{3,27} Sinir demetleri ile birlikte apikal foramenin içinden geçen arteriyoller yan dallar vererek pulpanın iç kısımlarına doğru uzanırlar.³ Arteriyoller koronal pulpaya ulaştıklarında incelenerek yelpaze şeklinde açılıp terminal arteriyolleri ve prekapilleri oluşturmak suretiyle subodontoblastik alanda kapiller ağ meydana getirirler.⁵⁷ Kapiller ağdan çıkan damarlar genç dişlerde odontoblast tabakasının içine girerek metabolik olarak aktif olan odontoblastlara metabolitten zengin bir besin kaynağı sağlarlar.

Pulpaya gelen kan, kapiller pleksusdan sırayla postkapiller venüllere ve daha büyük venüllere geçerek apikal foramenden çıkar. Çok köklü dişlerde venöz drenajın bazen sadece tek bir kökün kanalından apikale açıldığı ya da aksesuar kanallar yolu ile bifurkasyon ya da trifurkasyon bölgesine açıldığı görülür.³

Kan damarları pulpanın her yerinde bulunmakla birlikte koronal kısımdaki kan dolaşımı kök kısmındaki dolaşımın neredeyse iki katıdır.⁵⁸ Özellikle pulpa boynuzlarındaki kan akımının, pulpanın diğer bölgelerine oranla çok daha fazla olduğu gözlenir.⁵⁹

Kapiller damarların duvarlarında çoğunlukla pence-re şeklinde delikler olduğu gözlenir.⁵⁴ Bu deliklerin, intersisyal doku sıvısı aracılığıyla kapiller damarlarla komşu odontoblastlar arasındaki besin ve atık madde geçişlerini kolaylaştırdığı düşünülmektedir. Pulpayı etkileyen travmatik olaylarda bu mekanizmanın önemli rolü olduğu belirtilmektedir.^{3,9}

Pulpadaki venüller ince duvarlıdır ve çapları pulpanın ortalarına doğru ilerledikçe genişleyerek 200 µm'ye kadar ulaşır; dolayısı ile venüller pulpanın arteriyollerinden daha geniştir.^{3,27}

Hem kuron hem de kök pulpasında arteriyoller ile venüller arasında arteriyovenöz anastomozlar (AVAs) bulunur. Kan, bu bağlantılardan arteriyollerden venüllere geçer.⁶⁰ AVAs'taki venüller yaklaşık olarak 10 µm çapındadır. AVAs'ın pulpal dolaşımın düzenlenmesinde büyük önemi olduğu, mikrosirkülasyonun zedelenmesi durumlarda tromboz ve kanamaya meydan vermemek için hasarlı bölgede kanı kesen bir mekanizma olarak devreye girdiği düşünülmektedir.³ Sağlıklı ve kök rezorpsiyonu başlamamış süt dişlerinin damarsal yapıları ile sürekli dişlerin damarsal yapıları arasında fark yoktur. Kök rezorpsiyonunun ileri derecede olduğu durumlarda dahi süt dişlerinin koronal pulpasında arteriyol ve venüllerin hatta subodontoblastik kapiller pleksusun mevcudiyeti gösterilmiştir.⁵⁷ Ancak, süt dişlerinde arteriyovenöz anastomozların bulunmadığı görülür.^{11,57}

Pulpanın sinirsel uyarımı

Pulpa, sensory reseptörlerden santral sinir sistemine bilgi aktarabilen bir duyu organıdır. Pulpanın afferent sinirleri trigeminal sinirden ayrılarak arterler ve venler ile

beraber apikal foramenden kök içine girerler. Stimulusun ne olduğuna bakmadan (ısı değişiklikleri, mekanik deformasyon, zedelenme gibi) pulpadan gelen bütün afferent impluslar ağrı meydana getirir. Pulpada iki tip afferent sinir lifi vardır. Bunlar, miyelinli (A-lifi) ve miyelinsiz (C-lifi) sinir lifleridir.³ Her ikisi de somatik afferent liflerdir ve ağrı impulsunu taşırlar. Pulpada afferent sinirlere ek olarak sempatik lifler de bulunur. Sempatik sinir sisteminden gelen miyelinsiz sinir lifleri daha seyrekler. Pulpadaki bütün duysal ve sempatik sinir uçları kan damarlarının üstünde sonlanırlar. Böylece, vasomotor kontrol yaparak kan akımının düzenlenmesinde rol oynarlar.^{9,61} Nitekim, bu liflerin uyarılması arterlerin daralmasına ve kan akışının azalmasına neden olmaktadır.⁶²

A-lifleri

Çaplarının geniş olmasından dolayı hızlı iletim yapan bu lifler kolaylıkla uyarılarak daha çok mekanik ve termal uyarıların neden olduğu keskin ve batıcı tipteki ağrıları iletirler. Pulpadaki A lifleri A-beta ve A-delta liflerini içermektedir. A-liflerinin neredeyse %90'ı A-delta lifleridir.¹⁴ A-beta lifleri, A-delta liflerine oranla uyarılara karşı biraz daha duyarlıdır ancak bu liflerin her ikisi de dentin sıvısının hareketi ile uyarılıp dentin tübüllerini uyarmak için pulpada bir araya gelirler.³

C-lifleri

Bu lifler, çaplarının daha küçük olmasından dolayı yavaş iletim yaparlar ve daha çok sızı ve karıncalanma gibi yanıcı, spontan ağrıları iletirler.³

Pulpaya girdikten sonra schwann hücreleri tarafından kuşatılan sinirler miyelinli A-liflerini oluşturur. Kök gelişiminin tamamlanması ile miyelinli sinir liflerinin pulpanın merkezinde demetler halinde toplandığı görülür. Pulpadaki miyelinsiz C-liflerinin çoğu bu yığınların arasında bulunur. C-liflerinin geri kalanı ise pulpanın periferinde lokalize olmuştur.⁶³

Kan damarları ile beraber kök pulpasından geçen sinir demetleri koronal pulpaya ulaştıklarında hücreden zengin tabakanın altında Raschkow pleksusunu meydana getirirler. Kök gelişimi tamamlanmadan bu pleksusun gelişimi tamamlanmaz. Pulpadaki her sinir lifinin Raschkow pleksusuna en az 8 dal gönderdiği tahmin edilmektedir. Bu dallar hızlı bir şekilde subodontoblastik pleksusu oluşturur. Kök gelişimi tamamlandığında, Raschkow pleksusundaki A-sinir liflerinin miyelin kılıflarından çıkarak odontoblastlar arasına girdiği, bunlardan bir kısmının dentin tübülleri içine ilerlediği diğerlerinin odontoblastlar arasında sonlandığı ya da pulpaya geri döndüğü görülür.³ Dentin tübüllerine giren sinir liflerinin çoğunun dentin tübüllerinin içerisinde birkaç µm ilerleyebildiği⁶⁴ bu nedenle dentinde afferent sinir lifi bulunmadığı kabul edilir. Nitekim, dentine uygulanan topikal anestezinin dentin hassasiyetini azaltmaması bu durumla açıklanmaktadır.³

Süt dişlerinde duyarlılığının daimi dişlere oranla daha az olması, miyelinli liflerin daimi dişlerde daha fazla bulunması ile açıklanmaktadır.^{65,66}

Pulpal kan akımının düzenlenmesi ve nörovasküler etkileşim

Pulpa boşluğu sinirler, damarlar, fibriller, ana madde, interstisyel sıvı, odontoblastlar, fibroblastlar ve diğer minör hücrel yapılarla dolu olduğundan, pulpa içindeki arteriyol ve venüllerdeki kan hacminin artmasına bağlı olarak pulpa dokusunda sıkışmak için yer kalmadığı görülmektedir. Bu nedenle, kan akımının regüle edilmesinin pulpa için çok önemli bir konu olduğu vurgulanmaktadır. Bunun için, arteriyol ve venüllerin kan hacminde karşılıklı olarak değişiklik olsa bile bunun o bölgedeki damar sistemi içinde dengelendiği ve pulpa içindeki total kan hacminin değişmediği belirtilmektedir.²⁷

Yapılan ölçümler; sağlıklı bir pulpada intravasküler basıncın arteriyollerde 43 mmHg, kapiller damarlarda 35 mmHg, venüllerde ise 19 mmHg olduğunu göstermiştir.⁶⁷

Pulpa kan akımının düzenlenmesinde sempatik lifler, parasempatik lifler ve afferent lifler olmak üzere üç ana sinir sistemi görev almaktadır. Duyu sinirlerindeki kalsitonin gen ilişkili peptit (CGRP), P maddesi (SP), nöropeptit Y, nörokinin A (NKA), vazoaaktif intestinal polipeptit (VIP) gibi nöropeptitlerin pulpa biyolojisindeki önemi çok büyüktür.⁶⁸ Anestezik solüsyonlar bu nöropeptidlerin salımını azaltmaktadır.⁶⁹

Sempatik sinirler ve pulpal kan akımının düzenlenmesi

Pulpadaki arteriyollerin ve venüllerin duvarları düz kas hücrelerinden oluştuğu için miyelinsiz sempatik lifler tarafından innerve edilirler ve bu sinirlerin uyarılmasıyla lokal olarak norepinefrin, nöropeptit Y ve adenosin trifosfat (ATP) gibi vazokonstriksiyona yol açan nörotransmitterlerin salındığı ve bunun sonucu olarak da pulpadaki kan akımının azaldığı görülür. Elektriksel uyarılar ve epinefrin içeren lokal anesteziklerin de bu yolla vazokonstriksiyon sağladıkları gösterilmiştir.^{67,70}

Parasempatik sinirler ve pulpal kan akımının düzenlenmesi

Pulpa kan akımının düzenlenmesinde, sempatik sinirler kadar etkili olmamakla birlikte parasempatik sinir liflerinden salınan asetilkolin ve vazoaaktif intestinal polipeptit (VIP) de damarlarda vazodilatasyona neden olduğu görülür.⁷¹

Afferent lifler ve pulpa kan akımının düzenlenmesi

Afferent sinir lifleri P maddesi ve kalsitonin gen ilişkili peptit (CGRP) gibi nöropeptitler salgılayarak pulpa kan akımının düzenlenmesinde ve pulpanın immün sisteminde önemli rol oynarlar. Bu sinirlerin uyarılmasıyla damarlarda vazodilatasyon olduğu ve pulpal kan akımının arttığı

görüldür. Adrenalin enjeksiyonu ise kan akımının ciddi şekilde azalmasına dolayısı ile pulpa içindeki sinir aktivitesinin yavaşlamasına neden olmaktadır. Kan akımında 10 dakikadan fazla bir süre kesinti olduğu takdirde meydana gelen iskemi sonucu hızlı iletim yapan A-liflerin fonksiyonlarını kaybettikleri, yavaş iletim yapan C-liflerinin ise daha az duyarlı olmaları nedeniyle A-liflerine göre fonksiyonlarını daha uzun süre devam ettirebildikleri görülür.⁷⁰

Lenf damarları

Lenfatik sistem, pulpanın merkezindeki daha geniş damarlarla lenfatik kapillerlerden oluşmuştur. Odontoblastik tabakada lenfatik damarlar yoktur. Lenfatik kapillerin endotel duvarında çok sayıda hücreler arası bağlantı ve bazı yerlerde de kesintiler olduğu görülür. Bu kesintiler interstisyel doku sıvısının, hücrelerin, plazma proteinlerinin ve hücre artıklarının lenfatik sisteme geçişini sağlamaktadır. Lenf damarları 1 ya da 2 büyük damar halinde apikal foramenlerden çıkarak lenf sıvısını bölgesel lenf nodlarına taşırlar.⁷²

Lenfatik sistem, esas olarak interstisyel doku sıvısının dengelenmesinde rol oynadığı ve ayrıca savunma sistemini tamamladığı için doku homeostazında ve yarananma sonucu gelişen doku cevabının oluşmasında kritik öneme sahiptir.^{67,72}

Metabolizma

Pulpanın metabolik aktivitesi in vitro olarak pulpa dokularının oksijen tüketme ve karbondioksit ya da laktik asit oluşturma oranları ile belirlenmiştir.⁷³⁻⁷⁵ Buna göre, pulpanın O₂ tüketiminin diğer dokuların birçoğundan daha az bulunmuştur. Bu durumun, pulpanın hücrel kompozisyonunun seyrek olmasından kaynaklandığı belirtilerek pulpadaki metabolik aktivitenin odontoblast tabakasında çok fazla olduğu, kan damarlarının ve sinirlerin en fazla bulunduğu pulpa merkezinde ise metabolik aktivitenin çok düşük olduğuna dikkat çekilmiştir. Ayrıca, metabolik aktivitenin, normal yaşam döngüsünden farklı olarak dentinogeneze sırasında arttığı da belirtilmektedir.³

Öjenol, çinko oksit öjenol, kalsiyum hidroksit, amalgam gibi sık kullanılan materyallerin pulpa hücrelerinin metabolik aktivitesini bozarak oksijen tüketimini engellediği gösterilmiştir.⁷⁴ Ancak, gerektiği zaman pulpanın O₂ kullanmadan da fosfoglukonattan enerji üretebildiği ve bu şekilde iskemi durumunda da fonksiyon görebildiği anlaşılmıştır.⁷⁵ Nitekim, epinefrin içeren lokal anesteziklerin kullanımından sonra pulpada vazokonstriksiyon oluşmasına rağmen pulpanın fonksiyonlarını kaybetmediği görülmektedir.⁷⁶

Süt dişi pulpasının kök rezorpsiyonu üzerine etkisi

Kök rezorpsiyonu, süt dişlerinin düşmesi ile sonuçlanan fizyolojik bir süreçtir. Altta daimi diş germinin gelişme-

si ve sürmesine bağlı olarak meydana gelen basıncın bağ dokusu hücrelerinden odontoklastların differansiasyonunu tetiklediği ve odontoklastların ilk olarak süt dişleri ile daimi diş germeleri arasındaki kemiği, daha sonra da süt dişlerinin köklerini rezorbe ettiği belirtilmektedir. Daimi diş germelerinin konumu nedeniyle rezorpsiyon süt anterior ve kanin dişlerin lingualinden, arka grup dişlerin ise kökler arası bölgesinden başlamaktadır.⁷⁷

Kök rezorpsiyonunu etkileyen pek çok teori ileri sürülmüş ancak bu teorilerin rezorpsiyonun gerçek nedenini ve bunu neyin etkilediğini açıklamakta yetersiz kaldıkları görülmektedir.⁷⁸⁻⁸²

Kök rezorpsiyonu başlamamış süt dişleri ile genç sürekli dişlerin pulpası arasında histolojik yapı nitelikleri bakımından bir fark olmadığı konusunda fikir birliği olmasına rağmen, fizyolojik kök rezorpsiyonunun başlamasından itibaren dişin düşmesine kadar olan süre içinde süt dişi pulpasının bu özelliklerini koruyup korumadığı konusunda araştırmacılar arasında görüş ayrılığı vardır.^{1,2,11,48,83-85} Nitekim, dişin düşmesine kadar geçen süre boyunca süt dişi pulpasının normal durumunu koruduğunu ve rezorpsiyon olayına katılmadığını ileri süren araştırmacılar olduğu gibi^{11,77,78,82,83,86,87} fizyolojik kök rezorpsiyonu ile birlikte süt dişlerin yaşlanma dönemine girdiğini ve pulpa-larında rezorpsiyonun derecesine bağlı olarak morfolojik, histolojik ve biyokimyasal değişikliklerin ortaya çıktığını savunan araştırmacılar da vardır.^{1,48,84,88,89}

SONUÇ

Sonuç olarak kök rezorpsiyonu başlamamış süt ve genç sürekli dişlerin pulpaları arasında çok önemli yapısal farklılıklar olmadığı anlaşılmaktadır. Ancak süt dişlerinin dentin kalınlığının sürekli dişlere oranla daha az olması, dentin geçirgenliğinin fazla olması ve kök rezorpsiyonunun başlaması ile süt dişi pulpasının hücresel, damarsal ve sinirsel yapılarında oluşan değişiklikler bakımından sürekli dişlerin dentin ve pulpa yapısından farklılık gösterirler. Bu farklılıkların bilinmesi ise pulpanın durumunun doğru analiz edilmesi ve pulpa hastalıklarında uygulanacak tedavi yönteminin doğru belirlenebilmesi için gereklidir.

Çıkar çatışması: Yazarlar bu çalışmayla ilgili herhangi bir çıkar çatışmalarının bulunmadığını bildirmişlerdir.

KAYNAKLAR

- Hobson P. Pulp treatment of deciduous teeth. 1. Factors affecting diagnosis and treatment. Br Dent J 1970;128:232-8.
- Camp JH, Fuks AB. Pediatric endodontics: Endodontic treatment for the primary and young permanent dentition. Cohen S, Hargreaves KM, eds. Pathways of the pulp. 9th edn. St.Louis: Mosby Elsevier; 2006. p. 834-59.
- Pashley DH, Liewehr FR. Structure and functions of the dentin- pulp complex. Cohen S, Hargreaves KM, eds. Pathways of the pulp. 9th edn. St.Louis: Mosby Elsevier; 2006. p. 460-513.

- Goldberg M, Lasfargues JJ. Pulpo-dentinal complex revisited. J Dent 1995;23:15-20.
- Pashley DH. Dynamics of the pulpo-dentin complex. Crit Rev Oral Biol Med 1996;7:104-33.
- Pashley DH. Pulpodentin complex. Hargreaves KM, Goodis HE, Seltzer S, eds. Seltzer and Bender's dental pulp. 1st edn. Chicago: Quintessence Pub. Co.; 2002. p.63-94.
- Goldberg M, Takagi M. Dentine proteoglycans: composition, ultra-structure and functions. Histochem J 1993;25:781-806.
- Sumikawa DA, Marshall GW, Gee L, Marshall SJ. Microstructure of primary tooth dentin. Pediatr Dent 1999;21:439-44.
- Mjör IA, Sveen OB, Heyeraas KJ. Pulp-dentin biology in restorative dentistry. Part 1: normal structure and physiology. Quintessence Int 2001;32:427-46.
- Embery G, Hall R, Waddington R, Septier D, Goldberg M. Proteoglycans in dentinogenesis. Crit Rev Oral Biol Med 2001;12:331-49.
- Fox AG, Heeley JD. Histological study of pulps of human primary teeth. Arch Oral Biol 1980;25:103-10.
- Isokawa S, Kosakai T, Kajiya S. Interglobular dentin in the deciduous tooth. J Dent Res 1963;42:831-4.
- Garberoglio R, Brännström M. Scanning electron microscopic investigation of human dentinal tubules. Arch Oral Biol 1976;21:355-62.
- Koutsi V, Noonan RG, Horner JA, Simpson MD, Matthews WG, Pashley DH. The effect of dentin depth on the permeability and ultra-structure of primary molars. Pediatr Dent 1994;16:29-35.
- Hirayama A, Yamada M, Miake K. Analytical electron microscopic studies on the dentinal tubules of human primary teeth. J Dent Res 1985;64:743-65.
- Asakawa T, Manabe A, Itoh K, Inoue M, Hisamitsu H, Sasa R. Efficacy of dentin adhesives in primary and permanent teeth. J Clin Pediatr Dent 2001;25:231-6.
- Agostini FG, Kaaden C, Powers JM. Bond strength of self-etching primers to enamel and dentin of primary teeth. Pediatr Dent 2001;23:481-6.
- Agematsu H, Abe S, Shiozaki K, Usami A, Ogata S, Suzuki K, et al. Relationship between large tubules and dentin caries in human deciduous tooth. Bull Tokyo Dent Coll 2005;46:7-15.
- Kinney JH, Balooch M, Marshall SJ, Marshall GW Jr, Weihs TP. Hardness and Young's modulus of human peritubular and intertubular dentine. Arch Oral Biol 1996;41:9-13.
- Kinney JH, Balooch M, Marshall GW, Marshall SJ. A micromechanics model of the elastic properties of human dentine Arch Oral Biol 1999;44:813-22.
- Coffey CT, Ingram MJ, Björndal AM. Analysis of human dentinal fluid. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1970;30:835-7.
- Smulson M, Sieraski SM. Histopathology and diases of the dental pulp. Weine FS, ed. Endodontic therapy. St. Louis: The C.V. Mosby Company; 1989. p.74-153.
- Matthews B, Vongsavan N. Interactions between neural and hydrodynamic mechanisms in dentine and pulp. Arch Oral Biol 1994;39:87S-95S.
- Itthagarun A, Tay FR. Self-contamination of deep dentin by dentin fluid. Am J Dent 2000;13:195-200.
- Braennström M, Astroem A. A study on the mechanism of pain elicited from the dentin. J Dent Res 1964;43:619-25.
- Brännström M. Communication between the oral cavity and the dental pulp associated with restorative treatment. Oper Dent 1984;9:57-68.
- Trowbridge HO. Pathogenesis of pulpitis resulting from dental caries. J Endod 1981;7:52-60.
- Dai XF, Ten Cate AR, Limeback H. The extent and distribution of intratubular collagen fibrils in human dentine. Arch Oral Biol 1991;36:775-8.
- Micheli VJ, Schuster GS, Pashley DH. Bacterial penetration of human dentin in vitro. J Dent Res 1980;59:1398-403.

30. Michelich V, Pashley DH, Whitford GM. Dentin permeability: a comparison of functional versus anatomical tubular radii. *J Dent Res* 1978;57:1019-24.
31. Hahn CL, Overton B. The effects of immunoglobulins on the connective permeability of human dentine in vitro. *Arch Oral Biol* 1997;42:835-43.
32. Nagaoka S, Miyazaki Y, Liu HJ, Iwamoto Y, Kitano M, Kawagoe M. Bacterial invasion into dentinal tubules of human vital and nonvital teeth. *J Endod* 1995;21:70-3.
33. Weinstock M, Leblond CP. Synthesis, migration, and release of precursor collagen by odontoblasts as visualized by radioautography after (3H)proline administration. *J Cell Biol* 1974;60:92-127.
34. Linde A. The extracellular matrix of the dental pulp and dentin. *J Dent Res* 1985;64:523-9.
35. D'Souza RN, Bachman T, Baumgardner KR, Butler WT, Litz M. Characterization of cellular responses involved in reparative dentinogenesis in rat molars. *J Dent Res* 1995;74:702-9.
36. Gotjamanos T. Cellular organization in the subodontoblastic zone of the dental pulp. II. Period and mode of development of the cell-rich layer in rat molar pulps. *Arch Oral Biol* 1969;14:1011-9.
37. Murray PE, About I, Lumley PJ, Franquin JC, Remusat M, Smith AJ. Human odontoblast cell numbers after dental injury. *J Dent* 2000;28:277-85.
38. Murray PE, Hafez AA, Windsor LJ, Smith AJ, Cox CF. Comparison of pulp responses following restoration of exposed and non-exposed cavities. *J Dent* 2002;30:213-22.
39. Marion D, Jean A, Hamel H, Kerebel LM, Kerebel B. Scanning electron microscopic study of odontoblasts and circumpulpal dentin in a human tooth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1991;72:473-8.
40. Bishop MA, Yoshida S. A permeability barrier to lanthanum and the presence of collagen between odontoblasts in pig molars. *J Anat* 1992;181:29-38.
41. Okiji T. Pulp as a connective tissue. Hargreaves KM, Goodis HE, eds. *Seltzer and Bender's Dental Pulp*. 1st edn. Chicago, IL: Quintessence; 2002. p.95-122.
42. Mjör IA, Sveen OB, Heyeraas KJ. Normal structure and physiology. Mjör IA, ed. *Pulp-Dentin Biology in Restorative Dentistry*. Chicago: Quintessence Pub; 2002. p. 1-22.
43. Holland GR. The odontoblast process: form and function. *J Dent Res* 1985;64Spec No:499-514.
44. Grossman ES, Austin JC. Scanning electron microscope observations on the tubule content of freeze-fractured peripheral vervet monkey dentine (*Cercopithecus pygerythrus*). *Arch Oral Biol* 1983;28:279-81.
45. Yamada T, Nakamura K, Iwaku M, Fusayama T. The extent of the odontoblast process in normal and carious human dentin. *J Dent Res* 1983;62:798-802.
46. Weber DF, Zaki AE. Scanning and transmission electron microscopy of tubular structures presumed to be human odontoblast processes. *J Dent Res* 1986;65:982-6.
47. Byers MR, Sugaya A. Odontoblast processes in dentin revealed by fluorescent Di-I. *J Histochem Cytochem* 1995;43:159-68.
48. Dard M, Kerebel LM, Kerebel B. A transmission electron microscope study of fibroblast changes in human deciduous tooth pulp. *Arch Oral Biol* 1989;34:223-8.
49. Greeley MCB. Pulp therapy for the primary and the young permanent dentition. Forrester DC, Wagner ML, Fleming J, eds. *Pediatric Dental Medicine*. 1st edn. Philadelphia: Lea & Febiger; 1981. p.456-60.
50. Okiji T, Kawashima N, Kosaka T, Matsumoto A, Kobayashi C, Suda H. An immunohistochemical study of the distribution of immunocompetent cells, especially macrophages and Ia antigen-expressing cells of heterogeneous populations, in normal rat molar pulp. *J Dent Res* 1992;71:1196-202.
51. Sakurai K, Okiji T, Suda H. Co-increase of nerve fibers and HLA-DR- and/or factor-XIIIa-expressing dendritic cells in dentinal caries-affected regions of the human dental pulp: an immunohistochemical study. *J Dent Res* 1999;78:1596-608.
52. Hahn CL, Falkler WA Jr, Siegel MA. A study of T and B cells in pulpal pathosis. *J Endod* 1989;15:20-6.
53. Jontell M, Okiji T, Dahlgren U, Bergenholtz G. Immune defense mechanisms of the dental pulp. *Crit Rev Oral Biol Med* 1998;9:179-200.
54. Rapp R, el-Labban NG, Kramer IR, Wood D. Ultrastructure of fenestrated capillaries in human dental pulps. *Arch Oral Biol* 1977;22:317-9.
55. Mangkornkarn C, Steiner JC. In vivo and in vitro glycosaminoglycans from human dental pulp. *J Endod* 1992;18:327-31.
56. Gloe T, Pohl U. Laminin binding conveys mechanosensing in endothelial cells. *News Physiol Sci* 2002;17:166-9.
57. Rapp R. Vascular pathways within pulpal tissue of human primary teeth. *J Clin Pediatr Dent* 1992;16:183-201.
58. Kim S, Schuessler G, Chien S. Measurement of blood flow in the dental pulp of dogs with the 133xenon washout method. *Arch Oral Biol* 1983;28:501-5.
59. Meyer MW, Path MG. Blood flow in the dental pulp of dogs determined by hydrogen polarography and radioactive microsphere methods. *Arch Oral Biol* 1979;24:601-5.
60. Takahashi K, Kishi Y, Kim S. A scanning electron microscope study of the blood vessels of dog pulp using corrosion resin casts. *J Endod* 1982;8:131-5.
61. Byers MR, Taylor PE. Effect of sensory denervation on the response of rat molar pulp to exposure injury. *J Dent Res* 1993;72:613-8.
62. Edwall L, Kindlová M. The effect of sympathetic nerve stimulation on the rate of disappearance of tracers from various oral tissues. *Acta Odontol Scand* 1971;29:387-400.
63. Reader A, Foreman DW. An ultrastructural qualitative investigation of human intradental innervation. *J Endod* 1981;7:161-8.
64. Gunji T. Morphological research on the sensitivity of dentin. *Arch Histol Jpn* 1982 ;45:45-67.
65. Avery JK. Structural elements of the young normal human pulp. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1971;32:113-25.
66. Rodd HD, Boissonade FM. Innervation of human tooth pulp in relation to caries and dentition type. *J Dent Res* 200;80:389-93.
67. Suda H, Ikeda H. The circulation of the pulp. Hargreaves KM, Goodis HE, eds. *Seltzer and Bender's Dental Pulp*. 1st edn. Chicago: Quintessence; 2002. p.123-50.
68. Olgart L, Gazelius B, Brodin E, Nilsson G. Release of substance P-like immunoreactivity from the dental pulp. *Acta Physiol Scand* 1977;101:510-2.
69. Tranter IR, Messer HH, Birner R. The effects of neuropeptides (calcitonin gene-related peptide and substance P) on cultured human pulp cells. *J Dent Res* 1995;74:1066-71.
70. Kim S. Neurovascular interactions in the dental pulp in health and inflammation. *J Endod* 1990;16:48-53.
71. Bernick S, Nedelman C. Effect of aging on the human pulp. *J Endod* 1975;1:88-94.
72. Torneck CD, Torabinejad M. Biology of the dental pulp and periradicular tissues. Walton RE, Torabinejad M, eds. *Principle and practice of endodontics*. 1st edn. Philadelphia: WB. Saunders Sydney Co; 2002. p.3-26.
73. Fisher AK. Respiratory variations within the normal dental pulp. *J Dent Res* 1967;46:424-8.
74. Fisher AK, Schumacher ER, Robinson NR, Sharbondy GP. Effects of dental drugs and materials on the rate of oxygen consumption in bovine dental pulp. *J Dent Res* 1957;36:447-50.
75. Fisher AK, Walters VE. Anaerobic glycolysis in bovine dental pulp. *J Dent Res* 1968;47:717-9.
76. Kim S, Edwall L, Trowbridge H, Chien S. Effects of local anesthetics on pulpal blood flow in dogs. *J Dent Res* 1984;63:650-2.
77. Sicher H. Shedding of the deciduous teeth. Sicher H, ed. *Orban's oral histology and embryology*. 1st edn. St.Louis: The C.V. Mosby Co.; 1966. p. 320-3.

78. Kronfeld R. The resorption of the roots of deciduous teeth. *Dent Cosmos* 1932; 74:103-20.
79. Prove SA, Symons AL, Meyers IA. Physiological root resorption of primary molars. *J Clin Pediatr Dent* 1992;16:202-6.
80. Marks SC Jr, Cahill DR. Experimental study in the dog of the non-active role of the tooth in the eruptive process. *Arch Oral Biol* 1984;29:311-22.
81. Cahill DR. Eruption pathway formation in the presence of experimental tooth impaction in puppies. *Anat Rec* 1969;164:67-77.
82. Harokopakis-Hajishengallis E. Physiologic root resorption in primary teeth: molecular and histological events. *J Oral Sci* 2007;49:1-12.
83. Alexander SA. Collagenolytic activity from human deciduous pulps. *J Endod* 1981;7:418-20.
84. Aras Ş, Ergun E. Fizyolojik kök rezorpsiyonu esnasında süt dişlerinin pulpa ve kök dokularının histolojik olarak incelenmesi. *A Ü Diş Hek Fak Derg* 1983;10:57-67.
85. Mejare I. Endodontics in primary teeth. Bergenholtz G, Horsted-Bindslev T, Reit C, eds. *Textbook of endodontology*. 2nd edn. Hong Kong: Blackwell publishing Co; 2003. p.92-108.
86. Sari S, Aras S, Gunhan O. The effect of physiological root resorption on the histological structure of primary tooth pulp. *J Clin Pediatr Dent* 1999;23:221-5.
87. Troutman KC, Reisbick MH. Pulp therapy. Stewart RE, Barber TK, Troutman KC, Wei SHY, eds. *Pediatric dentistry. Scientific foundations and clinical practice*. 1st edn. Toronto, Ontario: Mosby Company; 1982. p.908-17.
88. Furseth R. The resorption processes of human deciduous teeth studied by light microscopy, microradiography and electron microscopy. *Arch Oral Biol* 1968;13:417-31.
89. Sahara N, Okafuji N, Toyoki A, Suzuki I, Deguchi T, Suzuki K. Odontoclastic resorption at the pulpal surface of coronal dentin prior to the shedding of human deciduous teeth. *Arch Histol Cytol* 1992;55:273-85.

Histologic properties of the pulp and dentin in primary teeth

ABSTRACT

Many teeth, especially the primary teeth are lost prematurely despite advancements in the prevention of dental caries and increasing recognition of the importance of natural dentition. These losses may lead to malocclusion or temporary or permanent esthetic, phonetic and functional problems. Preservation of the integrity and health of oral tissues is the main target in dental pulp treatments. Although the dental pulp is similar to other loose connective tissues of the body, it differs in some ways. The dentin and the pulp structure in primary teeth are somewhat different from those found in permanent teeth. For example dentin permeability in primary teeth is greater due to a thinner dentin structure, wider dentinal tubules and presence of wide canals in the dentin. Also changes in the vascular, cellular and neurologic components occur in the pulp of the deciduous tooth as a result of physiologic root resorption, a phenomenon which renders the histological picture different between primary and permanent tooth pulps. Recognition of these differences is crucial for accurate analysis of pulpal diseases and determining treatment modalities.

KEYWORDS: Dental pulp; dentin; pedodontics; primary tooth