

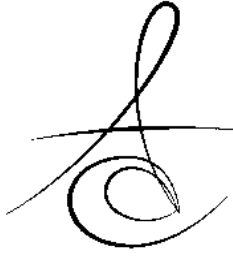
PAPER DETAILS

TITLE: Dentin geçirgenligi ve dentin geçirgenligini etkileyen faktörler: derleme

AUTHORS: Dr K Görkem ULU,Prof Dr Zuhal KIRZIOGLU

PAGES: 0-0

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/27221>



DENTİN GEÇİRGENLİĞİ VE DENTİN GEÇİRGENLİĞİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER: DERLEME

DENTIN PERMEABILITY and EFFECTING FACTORS of DENTIN PERMEABILITY: A REVIEW

Araş. Gör. Dr K. Gökem ULU*

Prof. Dr Zuhall KIRZIOĞLU**

Makale Kodu/Article code: 671
Makale Gönderilme tarihi: 30.09.2011
Kabul Tarihi: 17.10.2011

ÖZET

Diş yapısının büyük kısmı, dişin canlı kısmı olan dentinden oluşmaktadır. Dentin, kalınlığı, yaşı ve diğer değişkenlere bağlı olarak hem geçirgen bir yapı hem de bir bariyer olarak değerlendirilebilir. Dentin geçirgenliği, değerlendirilebilen önemli bir biyolojik değişkendir.

Dentin dokusunun geçirgenlik özelliklerinin ve bunu etkileyen faktörlerin tam olarak anlaşılması sayesinde sıvı akımı değerlendirilebilecek, ağrı, hassasiyet, restoratif başarısızlık, pulpal hasar gibi komplikasyonlardan sorumlu mekanizmaların anlaşılması mümkün olabilecektir.

Anahtar kelimeler: Dentin Geçirgenliği, Dentin

ABSTRACT

The bulk of tooth structure is made up of dentin, which is the vital part of the tooth. Dentin may be regarded both as a barrier and as a permeable structure, depending on its thickness, age, and other variables. Dentin permeability, which can be measurable, is an important biological variable.

Through the analyses of the properties of dentin permeability and the factors affected these properties; hydrolytic conductance could be evaluated and the mechanisms which are responsible for the complications such as pain, sensitivity, restorative failure and pulpal injury could be understood.

Keywords: Dentin Permeability, Dentin

GİRİŞ

Geçirgenlik (permeabilite), bir maddenin bir difüzyon bariyerinden ya da bariyer içine geçme kolaylığıdır. Bir materyalin, bir çözücü ya da bir çözümü geçirebilme kapasitesi o materyalin geçirgenliği olarak tanımlanabilir. Geçirgenlik, özellikle sıvıların, iyonların, bakterilerin ve ufak parçacıkların geçiş durumunu veya kalitesini göstermektedir. Fizikte, bir kütlenin veya dokunun geçiş kolaylığı ve/veya difüzyon oranı standart koşullar altında değerlendirilir. Bu geçişi, açık alan, dokunun yapısı ve kimyası, dokunun kalınlığı ve uygulanan basınç gibi pek çok faktör etkilemektedir. Dentinden madde geçişi yaklaşık olarak yüz yıl önce gösterilmiş ve bunun çürük, restoratif işlemler ve diğer lokalize lezyonlara karşı pulpanın reaksiyonunu belirleyen en önemli faktör olduğu belirtilmiştir.¹

Dentin, diffüze olan moleküllerle etkileşime girebilen, reaktif ve canlı bir dokudur.² Bu nedenle, tersiyer ve sklerotik dentin oluşumu, kalınlığı, yüzey alanı, bölgesel farklılıkları, smear tabaka varlığı, dentinal sıvı ile pulpal sıvı basıncı ve diğer değişkenlere bağlı olarak hem geçirgen bir yapı hem de bir bariyer olarak değerlendirilebilir.^{3, 4}

İn vivo radyoaktif izotop çalışmaları, dentin sıvısı ile pulpa sıvısının birbirinin devamı olduğunu göstermektedir.^{4,5} Bu nedenle çürük, travma, aşınma, fraktür, restoratif ya da periodontal işlemler sonucu dentinin ağız içi ortama açıldığı durumlarda dentin tübüllerinin ağız boşluğu ile pulpayı birbirine bağlayan içi sıvı dolu difüzyon kanalları haline geleceği ve ağız ortamındaki maddelerin dentinden geçerek pulpaya ulaşabileceği belirtilmiştir.⁴⁻⁶

*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi Pedodonti AD, Isparta, Türkiye
*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi Pedodonti AD, Isparta, Türkiye



Dentin Geçirgenliğini Etkileyen Faktörler

Dentin geçirgenliğinin bölgesel farklılıklara, dentinin yaşına, tübül içeriğine, tübüllerin mineralizasyon derecesine, tübül-intertübül oranına, kalan dentin kalınlığına, yüzey alanına, smear tabakanın varlığına, tersiyer ve sklerotik dentin oluşumuna, dentin ve pulpa sıvısının basıncına ve diğer değişkenlere bağlı olarak değiştiği görülmektedir.^{3,4,6-9}

İn vitro hidrolik iletim ölçümleri dentin geçirgenliği ve tübül sıvı hareketlerini etkileyen fiziksel faktörler hakkında bilgiye ulaşmamızı sağlamaktadır. Outhwaite ve ark.,¹⁰ dentinin hidrolik iletimini ölçmek için ilk in vitro metodu geliştirmiştir. Ölçümler çekilmiş insan 3. molar dişlerinden alınan 1 mm'lik koronal dentin kesitlerinin konulduğu bölümlü örnek koyma aracı (split chamber device) yardımıyla yapılan deneyler sonucu elde edilmiştir.

1. Bölgesel Farklılıklar

Dentin tübüllerinin yoğunluk ve çaplarının mine-dentin birleşiminden pulpaya doğru gidildikçe artması, dentindeki bölgesel geçirgenlik farklılıklarında önemli bir faktördür. Geçirgenlik, mm²'ye düşen tübül sayısı ve genişliğine bağlı olarak dentinin her yerinde farklılık göstermektedir.^{4,6,11} Dentin tübüllerinin çapı ne kadar büyükse, akım hızı ve geçirgenlik derecesinin de o kadar büyük olacağı bildirilmektedir. Dentinin, mine-dentin sınırında kapladığı alan pulpa tarafında kapladığı alana göre yaklaşık 5 kat daha fazla olduğu halde bu kısımda tübül çaplarının sadece 1 µm olması nedeniyle periferde tübüller arası mesafenin fazla olduğu görülmektedir. Ancak, pulpa tarafında dentin yüzeyinin 5 kat daha az olmasına karşılık tübül çaplarının 3-4 µm'ye çıkması bu bölgede tübüller arası mesafenin daralarak tübüllerin birbirine yaklaşmasına neden olmaktadır. Dentin geçirgenliği, tübüllerin bu şekilde bir koni gibi genişleyerek pulpaya doğru uzanması nedeniyle, mine dentin birleşiminde en düşük, pulpal kenarda ise en yüksektir.^{7,12-14} Süt dişleri ile hazırlanan ilk çalışmada, 9-11 yaş grubundaki çocukların çekilmiş süt azalarında geçirgenlik, çap ve tübül yoğunluğunu incelenmiş ve servikal üçlüldeki dentin geçirgenliğinin daha yüksek olduğu gözlenmiştir.¹⁵ Orta kısımda, birim alana düşen tübül sayısı ve tübül genişliği daha az olduğundan geçirgenliğin de pulpaya yakın kısımlara göre daha az olduğu belirtilmektedir. Ayrıca bu kısımda mineral miktarının ve intertübül dentin matriksinin de daha fazla olması dentin geçirgenliğinin azalmasında etkili olduğu bildirilmiştir.² Oklüzal dentin ile

bukkal dentinin geçirgenliği arasında bir fark olmadığı¹⁶, oklüzal dentinin bukkal dentinden daha çok geçirgen olduğu³, aksiyal dentinin ise oklüzal dentinden daha geçirgen^{4,14,17} ve koronal dentinin de kök dentinine oranla çok daha az geçirgen olduğu^{3,6,14,17,18} belirtilmiştir. Bununla birlikte, her dişin kendine özgü geçirgenlik özellikleri vardır ve aynı zamanda farklı yaş gruplarında da geçirgenlik farklılıkları mevcuttur.¹⁹

2. Dentinin Yaşı

Yaş ile birlikte, dentin tübülünün iç kısmını kaplayan peritübül dentin miktarı ve mineralizasyonunun artmasının, dentin tübüllerinde daralmaya hatta tıkanmaya yol açtığı^{1,20,21} ve bu nedenle geçirgenliğin yaşla birlikte değiştiği görülmektedir.^{3,4,7,9,19} Yaşlı dentinde dentin sklerozuna bağlı olarak bazen kristallerin tübüllerini tamamen tıkadığı ve dentin geçirgenliğinin ortadan kalktığı rapor edilmektedir.²²

3. Dentin Tübül İçeriği

Dentin tübüllerini maddelerin pulpaya giriş çıkışını sağlayan yollardır. Tübüller dentinin tüm kalınlığı boyunca uzanırlar ve pulpadan dışarıya doğru eğimlidirler. Tübüllerin yoğunluğu ve boyutları dentinin farklı bölgelerinde değişiklikler sergilemektedir. Dentin tübüllerinin çapı ve yoğunluğu dentin geçirgenliğini doğrudan etkileyen en önemli özelliklerden biridir.²³ Tübüllerin fonksiyonel çapları ne kadar genişse, sıvı akış hızı ve geçirgenliğin de o oranda büyük olması beklenmektedir.¹⁹ Ancak, tübül çapı ve yoğunluğu göz önüne alındığında herhangi bir derinlikte ve bölgedeki dentin geçirgenliğinin beklenenden daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum, dentin tübüllerinin fonksiyonel çaplarının anatomik çaplarına göre daha dar olmasıyla açıklanmaktadır.⁴ Yapılan çalışmalarda; tübül sıvı hareketinin, tübül çapının dördüncü kuvvetiyle doğru orantılı olduğu dolayısı ile tübül çapındaki çok küçük değişikliklerin sıvı akış hızında büyük değişikliklere yol açtığı belirtilmektedir.^{4,6}

Canlı dişlerde dentin tübüllerini dolduran odontoblastik uzantıların, dentin geçirgenliğini etkileyerek bakteri invazyonunu engellediği gözlemlendiğinden odontoblast uzantılarının kaybı durumunda tübül içerisinde oluşan ölü alanların tübül geçirgenliğinde artışa neden olduğu ileri sürülmektedir.^{7,23,24} Kesilmiş, açık dentin yüzeyinde, smear tabakasının varlığının dentin tübüllerine içine mikroorganizmaların girişini engellediği düşünülmektedir fakat çalışmalarda, smear tabakası yokken ve mikroorganizmaların tübüllere girmesi mümkünken bile ilerlemelerinin durdurulduğu gösterilmektedir.^{25,26}



Tübül içerisindeki mineralize olmamış kollajen fibrillerin ise dentinin iç kısımlarındaki tüm tübüllerin %65'inde bulunduğu, kollajen fibrillerin bunların %16'sında büyük gruplar halinde kümelenildiği ve bu oranların dentinin dış kısmına doğru giderek azalmakla birlikte, kollajenin dentin tübülleri içinde hayat boyu var olduğu belirtilmektedir.²⁷

Mikroorganizmaların, tübüllerin değişken şekil ve açılanmaları nedeniyle, dentinin tüm kalınlığı boyunca ilerlemesi güçleşmektedir. Açık tübülleri olan canlı dentinde, dışa doğru olan sıvı iletimi materyallerin içe doğru difüzyonel akımıyla yarışmaktadır. Bu yarışın da koruyucu bir fonksiyon olarak görev yaptığı düşünülmektedir.⁴ Bununla birlikte, bakteriler dentin tübüllerinde güçlükle ilerlerken, vital dentinde, dışa doğru hareket eden dentin sıvısı, immünoglobulinleri içerdiği için çok hızlı ve çok uzağa ilerleyememektedir. Kollajen fibrillerin yanı sıra dentin sıvısı ile birlikte pulpadan dentin yüzeyine doğru taşınan Ig G, A ve M gibi büyük moleküllü plazma proteinlerinin de tübüllerin anatomik çaplarını daralttığı, tübüllerin periferik ve pulpal uçları açık olsa bile tübül içindeki sıvı hareketinin yavaşladığı böylece hidrolik iletkenliğin belirgin bir şekilde azaldığı gözlenmiştir.^{4,6,28} Çürük bulunan dişlerin dentin tübüllerinde sağlam dişlerdekine oranla daha fazla immünoglobulin bulunduğu belirtilmektedir.²⁹

Canlı dişlerin tübül duvarlarında biriken plazma proteinlerinin de (fibrinojen) zamanla tübül çapını daraltarak dentin geçirgenliğini azalttığı görülür.^{14,30} Fibrinojenin, tübüllerin pulpal uçlarında fibrine polimerize olarak dentinde geçirgenlik azalmasına yol açabileceği düşünülmektedir.⁴ Tübüllerin özellikle pulpa tarafındaki kısmında fibrin halinde bulunan fibrinojenin, derin kavite preparasyonlarında ya da pulpanın açıldığı durumlarda dentin sıvısı içinde ölçülebilir bir miktara ulaştığı gözlenmektedir.³¹

Tübüllerin anatomik çapında meydana gelen bu daralmanın bakteri geçişini engelleyebildiği dolayısı ile pulpayı kronik çürük lezyonunun toksik ürünlerinden ya da bakteriyel antijenlerin yayılımından koruyabildiği belirtilmektedir.³² Ancak, tübül çapındaki değişikliklerin dışarıdan içeriye olan difüzyon yerine dentinden dışarı doğru olan sıvı hareketini etkilediğini ve bu nedenle dentin sıvı akışındaki azalmanın dış kaynaklı maddelerin içeri doğru invazyonunu arttıracaklarını savunan araştırmacılar da vardır.^{9,14,33} Böylece dentin sıvısındaki komponentlerin, bakteri ve ürünleri ile doğrudan etki-

leşerek ve dentin geçirgenliğini azaltarak savunma reaksiyonuna katıldıkları, koruyucu bir rol üstlendiği görülmektedir.³³

4. Hidrostatik Basıncı

Bir dokunun hidrolik iletimi, sabit basınç altında birim zamanda birim yüzey alanından sıvının geçebilme kolaylığını belirtmektedir. Değişim hidrostatik ya da osmotik kuvvetler tarafından oluşturulabilir. Travma ya da diş kesimi nedeniyle dentin açığa çıktığında, bu tübüller yüzeyden pulpaya uzanan difüzyon kanalları halini alır ve açık dentin yüzeyine hava sıkıldığı ya da kuru ısı veya su emici kağıt uygulaması gibi dentin yüzeyinin dehidrate edildiği durumlarda pulpa odasındaki yaklaşık 20 mm Hg ya da 14-15 cm H₂O basınç değerindeki pozitif hidrostatik basıncın etkisiyle dentin sıvısının 0.02 nl/s/mm²'lik bir hızla pulpadan açık dentin yüzeyine doğru hareket ettiği ve kuronda mineye, kökte ise semente ulaştığı görülmektedir.^{3,4,6,21}

Dentinin, bakteriyel işgale karşı etkili bir bariyer olarak görev yaptığı bakteriolojik çalışmalarda da gösterilmiştir.^{25,26} Açığa çıkmış dentinde, zararlı maddelerin içeri difüze olmalarına karşı ilk savunma hattı tübüllerdeki dışa doğru sıvı akımıdır. Dentin sıvısının dışa doğru olan bu hareketi sayesinde bakteri invazyonunun engellendiği belirtilmektedir.^{22,24,32}

5. Kalan Dentin Kalınlığı

Pulpayı çürük lezyonundan ayıran minimum sağlıklı dentin mesafesi olarak tanımlanan ve pulpa reaksiyonları açısından önemli bir kavram olan "kalan dentin kalınlığı", belirli bir alandaki dentin geçirgenliğinin en önemli belirleyicisidir.^{3,11} Dentin, kalınlığına, yaşına ve diğer değişkenlere bağlı olarak, hem bir bariyer hem de geçirgen bir yapı olarak düşünülebilir. Dentinin tübül yapısı onun çok pöröz olmasına neden olmaktadır.³⁴ Materyalin dentinden pulpaya difüzyon akım oranı, dentinin kalınlığına ve hidrolik iletime bağlıdır. İnce dentin, kalın dentine göre çok daha fazla difüzyonel akıma izin verebilir. Koronal dentinin periferinde mm²'de 15.000 tübül olmasına karşılık mine-dentin sınırından pulpaya doğru giderek tübül çapı ve birim alana düşen tübül sayısı arttığı için (45.000-65.000 tübül/mm²) pulpaya yaklaştıkça dentinin daha gözenekli bir hal aldığı görülür.^{4,6,17,24} Ayrıca, kalan dentin kalınlığı azaldıkça tübüllerin boyu da kısaldığından pulpaya yaklaştıkça sıvı geçişine karşı direncin azaldığı ve dentinin daha geçirgen hale geldiği görülür.^{12,14,15} Bu durum, dentin geçirgenliğinin, dentin kalınlığı ile ters orantılı olarak değiştiğini, açık tübül



sayısı ve çapı ile doğru orantılı olduğunu göstermektedir.^{6, 14}

6. Konsantrasyon ve Molekül Ağırlığı

Dentinde birçok maddenin basit difüzyonla geçtiği görülmektedir. Materyallerin pulpaya doğru olan difüzyonuna karşı pulpadan da dentin yüzeyine doğru ters yönde sıvı hareketi olduğu ancak difüzyon hızının genellikle pulpadan dışa doğru olan sıvı akış hızından daha fazla olduğu ifade edilmektedir.^{3,35} Difüzyon hızının maddenin konsantrasyonu ile doğru orantılı ancak molekül ağırlığı ile ters orantılı olması, maddenin konsantrasyonu arttıkça difüzyon hızının artmasına buna karşılık molekül ağırlığı arttıkça difüzyonunun yavaşlamasına neden olmaktadır. Dentinde glukozun, sukrozun ve dekstranın, molekül ağırlıkları ve içsel diffüze olabilmek güçlerindeki farklılıklar nedeniyle, geçirgenlik katsayılarının da farklı olduğu gösterilmiştir.¹² Geçirgenlik katsayıları ve akım oranları, pulpa boynuzları bölgesinde en yüksek ve oklüzal dentinin merkezinde en düşük olmak üzere farklılıklar göstermektedir.³⁶ Dentinde, su gibi küçük moleküllerin dentin içinden kolayca geçtiği ancak albümin, immünglobulin, endotoksin gibi molekül ağırlığı 10^6 'nın üzerinde olanların ise daha yavaş geçtikleri ve odontoblast tabakasının bu moleküller için bir bariyer gibi davranarak pulpaya ulaşmalarını engellediği belirtilmiştir.⁸

7. Sklerotik Dentin Varlığı

Sklerotik dentinin geçirgenliğinin, daha düşük olduğu ifade edilmektedir.³⁷ Tersiyer dentin ile primer veya sekonder dentinin tübülleri arasında devamlılık olmaması ve tersiyer dentindeki tübüllerin düzensiz ve az sayıda olması nedeniyle, dentin geçirgenliğini engellediği ve canlılığını kaybeden odontoblastların yerini alan yeni odontoblast benzeri hücrelerde genellikle sitoplazmik uzantı bulunmadığı, bu hücrelerden salgılanan matriksin atübüler yapıda olduğu bu nedenle tersiyer dentinin geçirgenliğinin hemen hemen sıfıra indiği de ileri sürülmektedir.^{4,37} Düzensiz tip reperatif dentinin, geçirgenliği ve sıvı akımını azalttığı ve böylece tübüllerin pulpal uçlarını bloke ederek dentin hassasiyetini azalttığı da bildirilmektedir.¹

8. Smear Tabaka Oluşumu

Smear tabakası ve smear tıkaçları, dentin tübüllerinin çoğunu tıkadıkları için doğal bir bariyer gibi davranarak hidrolik iletkenlik ya da dentin sıvı hareketinde azalmaya neden olabilmektedirler.^{3,38} Basınç altında kuron segmentlerinde sıvı hareketine karşı oluşan direncin pulpal, intratübüler ve yüzey direnci

(smear tabakası) olmak üzere 3 kısımdan oluştuğu, smear tabakasının toplam direncin %86'sından sorumlu olduğu ve hidrolik iletim üzerinde dentinin biyolojik değişkenliğinin doğrudan etkisi olduğu bildirilmiştir.^{12,39} Bazı durumlarda, smear tabakasının varlığının akım oranını sıfıra kadar indirdiği, smear tabakasının kaldırılmasıyla dentinde sıvı geçiş oranının arttığı bildirilmiştir.^{9,40} Smear tabaka, iyi bir koruyucu bariyer olmasına karşın dentine bağlantısı zayıf olup asitlere karşı dayanıklı değildir.⁶ Koutsis ve ark.¹⁵, smear tabakası varlığında, süt ve daimi diş geçirgenlikleri arasında bir farklılığın olmadığını ve süt dişlerindeki, dentin tübüllerinin yapı ve yoğunluğunun daimi dişlerden daha az olmasından dolayı, daimi dişlerdeki hidrolik biçimin daha yüksek olduğunu ifade etmiştir. Smear tabakasının uzaklaştırılmasının, dentin sıvısının dışarıya doğru hareketine de neden olduğu bildirilmektedir.^{4,41}

9. Diş Çürüğü

Dentinde en yaygın olarak meydana gelen patoloji, diş çürüğüdür. Çürüğe karşı hem dentinin kendisinde, hem de pulpaya bakan yüzeyinde bir takım değişiklikler meydana gelmektedir.^{6,37,42} Diş çürüğünün, dentin geçirgenliğini büyük oranda azalttığı gözlenerek çürük dentinin sağlıklı dentinden daha az geçirgen olduğu belirtilmiştir.^{3,6,41} Puapichartdumrong ve ark.⁴³, sağlam ve çürük dentin geçirgenliğini inceledikleri çalışmalarında, çürükten etkilenmiş dentinin sağlam dentine göre daha az geçirgen olduğunu bulmuşlardır. Çürük süt dişlerinde yapılan bir çalışmada ise, çürük derinliğinin artışıyla birlikte dentin geçirgenliğinin de artış gösterdiği tespit edilmiştir.⁴⁴ Yapılan diğer araştırmalarda da, ekskavasyon ve smear tabakanın kaldırılmasından sonra bile çürük dentinin geçirgenliğinin hala çok düşük olduğu gösterilmiştir.^{37,45} Bu durumun, kısmen tübüllerdeki bakterilerin kısmen de remineralizasyon sonucu biriken intratübüler kristallerin (çürük kristalleri) tübül çapını daraltması sonucu olduğu belirtilmektedir.⁹ Tübül içerisine bakteri infiltrasyonundan sonra dentin iletkenliğinde % 42 oranında azalma olduğunu gözlemleyen araştırmacılar da tübül içindeki bakteri varlığının dentin geçirgenliğini azalttığını belirtmişlerdir.⁴⁶

SONUÇ

Dişleri restore etmede kullanılan operatif işlemler genellikle dentini de kapsamaktadır. Bu nedenle, restorasyonların uzun ömürlü olmasında dentinin



yapısını iyi bilmek çok önemli rol oynamaktadır. Dentin kendi nemlilik derecesini hızla değiştirebilme yeteneğine sahip, dinamik, heterojen bir dokudur. Dişin mine dokusundan bu özellikleriyle ayrılan dentin, restoratif materyallerin dişe bağlanmasında problemlerle karşılaşılmasına neden olmaktadır.

Dentin dokusunun geçirgenlik özelliklerinin ve bunu etkileyen faktörlerin tam olarak anlaşılması sayesinde sıvı akımı değerlendirilebilecek, ağrı, hassasiyet, restoratif başarısızlık, pulpal hasar gibi komplikasyonlardan sorumlu mekanizmaların anlaşılması mümkün olabilecektir.

KAYNAKLAR

1. Mjör IA. Dentin Permeability: The Basis for Understanding Pulp Reactions and Adhesive Technology. *Braz Dent J* 2009;20(1):3-16
2. Pashley DH, Andringa HJ, Derkson GD, Derkson ME, Kalathaor SR. Regional variability in the permeability of human dentine. *Arch Oral Biol* 1987;32(7):519-23.
3. Pashley DH. Consideration of dentine permeability in cytotoxicity testing. *Int Endo J* 1988;21(2):143-54.
4. Pashley DH. Pulpodentin Complex. In: Seltzer and Bender's Dental Pulp. KM Hargreaves, HE Goodis. Quintessence Publishing Co., 2002, p.63-85.
5. Tziafas D, Smith AJ, Lesot H. Desining new treatment strategies in vital pulp therapy. *J Dent* 2000;28(2):77-98.
6. Sturdevant JR, Lundeen TF, Studer TB. Clinical Significance of Dental Anatomy, Histology, Physiology and Occlusion. In: Sturdevant's Art & Science of Operative Dentistry. TM Roberson, HO Heymann, EJ Swift, Eds. 4th. Ed., St. Louis: Mosby, 2002; Chapter 2, p.22-31.
7. Avery JK, Chiego DJ. Dentin. In: Essentials of Oral Histolgy and Embryology, Eds. 3rd Ed., St. Louis: Mosby C, 2006: p.107-136.
8. Berkovitz BKB, Holland GR, Moxham BJ. Dentine. In: Oral Anatomy, Embryology and Histology, 3rd Ed. St. Louis: Mosby C. 2002; p.125- 48.
9. Ghazali FBC. Permeability of dentine. *Malaysian J Med Sci* 2003;10(1):27-36.
10. Outhwaite WC, Mackenzie DM, Pashley DH. A versatile split-chamber device for studying dentin permeability. *J Dent Res* 1974;53(6):1503.
11. Hamid A, Hume WR. The effect of dentine thickness on diffusion of resin monomers in vitro. *J Oral Rehabil* 1997;24(1):20-5.
12. Pashley DH, Livingstone MJ, Greenhill JD. Regional resistance to fluid flow in human dentine in vitro. *Arch Oral Biol* 1978;23(9):807-10.
13. Pashley DH, Livingston MJ, Reeder OW, Horner J. Effects of the degree of tubule occlusion on the permeability of human dentine in vitro. *Arch Oral Biol* 1978;23(12):1127-33.
14. Pashley DH. Clinical considerations of microleakage. *J Endod* 1990; 16(2):70-7.
15. Koutsi V, Noonan RG, Horner JA, Simpson MD, Matthews WG, Pashley DH. The effect of dentin depth on the permeability and ultrastructure of primary molars. *Pediatr Dent* 1994;16(1):29-35.
16. Özok AR, Wu MK, Wesselink PR. The effects of post extraction time on the hydraulic conductance of human dentin in vitro. *Arch Oral Biol* 2002;47(1):41-6.
17. Van Meerbeek B, Inoue S, Perdigao J, Lambrechts P, Vanherle G. Enamel and dentin adhesion. In: Fundamentals of Operative Dentistry Ed.: J.B. Summitt, JW Robbins, RS Schwartz, JD Santos. Chapter 8, 2001; p.178-235.
18. Fogel, H.M., Marshall, F.J., Pashley, D.H. Effects of distance from the pulp and thickness on the hydraulic conductance of human radicular dentin. *J Dent Res* 1988;67(11):1381-5.
19. Outhwaite WC, Livingston MJ, Pashley DH. Effects of changes in surface area, thickness, temperature and post-extraction time on human dentine permeability. *Arch Oral Biol* 1976;21(10):599-603.
20. Linde A, Goldberg M. Dentinogenesis. *Crit Rev Oral Biol Med* 1993;4(5):679-728.
21. Marshall GW Jr. Dentin: microstructure and characterization. *Quintessence Int* 1993;24(9): 606-17.
22. Pashley DH, Pashley EL, Carvalho RM, Tay FR. The effects of dentin permeability on restorative dentistry. *Dent Clin North Am* 2002;46(2):211-45.
23. Pashley DH, Okabe A, Parham P. The relationship between dentin microhardness and tubule density. *Dent Traumatol* 1985;1(5):176-9.
24. Pashley, D.H., Liewehr, F.R. Structure and Functions of the Dentin and Pulp Complex. In: Pathways of the Pulp. S Cohen, KM Hargreaves, Eds. 6th Ed., Mosby, 2006.



25. Puapichartdumrong P, Ikeda H, Suda H. Outward fluid flow reduces inward diffusion of bacterial lipopolysaccharide across intact and demineralised dentine. *Arch Oral Biol* 2005;50(8):707-13.
26. Nagoaka S, Miyazaki Y, Liu H, Iwamoto Y, Kitano M, Kawagoe M. Bacterial invasion into dentinal tubules of human vital and nonvital teeth. *J Endod* 1995;21(2):70-3.
27. Dai XF, Ten Cate AR, Limeback H. The extent and distribution of intratubular collagen fibrils in human dentine. *Arch Oral Biol* 1991;36(10): 775-8.
28. Vongsavan N, Matthews RW, Matthews B. The permeability of human dentine in vitro and in vivo. *Arch Oral Biol* 2000;45(11): 931-5.
29. Okamura K. Histological study on the origin of dentinal immunoglobulins and the change in their localization during caries. *J Oral Path* 1985;14(9): 680-9.
30. Markowitz K, Kim S. Hypersensitive teeth: Experimental studies of dentinal desensitizing agents. *Dent Clin North Am* 1990;34(3): 491-501.
31. Knutsson G, Jontell M, Bergenholtz G. Determination of plasma proteins in dentinal fluid from cavities prepared in healthy young teeth. *Arch Oral Biol* 1994;39(3): 185-90.
32. Hanh CL, Overton B. The effects of immunoglobulins on the convective permeability of human dentine in vitro. *Arch Oral Biol* 1997; 42 (12): 835-43.
33. Love RM, Jenkinson HF. Invasion on dentinal tubules by oral bacteria. *Crit Rev Oral Biol Med* 2002;13(2): 171-83.
34. Mjör IA, Nordahl I. The density and branching of dentinal tubules in human teeth. *Arch Oral Biol* 1996;41(5): 401-12.
35. Pashley DH, Kehl T, Pashley E, Palmer P. Comparison of in vitro and in vivo dog dentin permeability. *J Dent Res* 1981;60(3):763-8.
36. Pashley DH, Andringa HJ, Derkson GD, Derkson ME, Kalathaor SR. Regional variability in the permeability of human dentine. *Arch Oral Biol* 1987;32(7): 519-23.
37. Elgalaid TO, Creanor SL, Creanor S, Hall AF. The permeability of natural dentine caries before and after restoration: An in vitro study. *J Dent* 2007;35(8): 656-63.
38. Pashley DH, Livingston MJ. Effect of molecular size on permeability coefficients in human dentine. *Arch Oral Biol* 1978;23(5): 391-5.
39. Dippel HW, Borggreven JMPM, Hoppenbrouwers PMM. Morphology and permeability of the dentinal smear layer. *J Prosthet Dent* 1984;52(5): 657-62.
40. Pashley DH, Michelich V, Kehl T. Dentin permeability: Effect of smear layer removal. *J Prost Dent* 1981;46(5): 531-7.
41. Marshall GW Jr, Marshall SJ, Kinney JH, Ballooch M. The dentin substrate: structure and properties related to bonding. *J Dent* 1997;25(6): 441-58.
42. Stanley HR, Pereira JC, Speigal E, Broom C, Schultz M. The detection and prevalence of reactive and physiologic sclerotic dentin, and dead tracts beneath various types of dental lesions according to tooth surface and age. *J Oral Pathol* 1983;12(4): 257-89.
43. Puapichartdumrong P, Ikeda H, Suda H. Facilitation of iontophoretic drug delivery through intact and caries-affected dentine. *Int Endod J* 2003;36(10): 674-81.
44. Ulu KG, Kırzioğlu Z. Permeability of Caries Primary Teeth with A New System. *J Dent Res* 2011;90(Spec Iss A): 3369.
45. Pashley EL, Talman R, Horner JA, Pashley DH. Permeability of normal versus carious dentin. *Dent Traumatol* 1991;7(5): 207-11.
46. Love RM, Chandler NP, Jenkinson HF. Penetration of smeared or nonsmeared dentine by streptococcus gordonii. *Int Endod J* 1996;29(1): 2-12.

Yazışma Adresi

Araş. Gör. Dr K. Gökem ULU
Süleyman Demirel Üniversitesi
Diş Hekimliği Fakültesi Pedodonti AD
Isparta, Türkiye
Telf.: 05057646372
e-mail: gorkemulu@yahoo.com

