

Kalsiyum silikat esaslı materyallerin farklı yapılardaki dentin mikrosertliğine etkisi

The effect of calcium silicate-based materials on the microhardness of different dentin structures

Arş. Gör. Huriye Sena Gökgöz

Çukurova Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi,
Endodonti A.D., Adana

Orcid ID: 0000-0002-1200-4098

Öğr. Gör. Dr. Cihan Küden

Çukurova Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi,
Endodonti A.D., Adana

Orcid ID: 0000-0002-2663-9828

Prof. Dr. Oğuz Yoldaş

Çukurova Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi,
Endodonti A.D., Adana

Orcid ID: 0000-0002-6887-1190

Geliş tarihi: 10 Ekim 2021

Kabul tarihi: 27 Aralık 2022

doi: 10.5505/yeditepe.2023.09327

Yazışma adresi:

Huriye Sena Gökgöz

Çukurova Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi 01380

Adana – Türkiye

Tel: +90 553 258 69 41

E-posta: senagokgoz92@gmail.com

ÖZET

Amaç: Bu çalışmanın amacı, kalsiyum silikat esaslı MTA ve Endosequence BC materyallerinin kanal içinde ve dentin yüzeyinde meydana getirdiği mikrosertlik değişiminin incelenmesidir

Gereç ve Yöntem: Bu çalışmada 100 adet çekilmiş çürüksüz (50 premolar, 50 üçüncü molar) insan dişi kullanıldı. Premolar diş köklerinin ve molar diş kronlarının orta üçlüsünden 2 mm kalınlığında kesitler elde edildi. Kesitlerin başlangıç Knoop sertlik değerleri katedildi. Kesitler rasgele 6 gruba ayrıldı. Grup PEBC: Premolar diş kesitlerinin kök kanalı içerisine Endosequence BC uygulandı. Grup MEBC: Molar diş kesitlerin dentin yüzeyine Endosequence BC uygulandı. Grup MMTA: Molar diş kesitlerinin dentin yüzeyine MTA uygulandı. Grup PMTA: Premolar diş kesitlerinin kök kanalı içerisine MTA uygulandı. Grup PK ve Grup MK: Materyal uygulanmayan premolar ve molar diş kesitleri kontrol grubu olarak belirlendi. 21 gün 37°C de bekletilen örnekler etüvden çıkarılarak sertlik ölçümleri tekrarlandı. ANOVA ve Scheffe post hoc testi ile gruplar arasındaki anlamlı fark %95 anlamlılık düzeyinde analiz edilmiştir.

Bulgular: Her iki materyal kontrol gruplarına göre anlamlı derecede dentin sertlik azalmasına yol açmıştır ($p < .05$). Materyallerin dentin yüzeyine uygulanması kök kanal içerisine uygulanmasına göre her iki materyal için önemli derecede sertlik değişimine neden olmuştur ($p < .05$).

Sonuç: MTA ve Endosequence BC materyalleri dentin sertliğini azaltmıştır.

Anahtar kelimeler: Dentin, kalsiyum silikat, mikrosertlik, MTA

SUMMARY

Aim: The aim of this study is to examine the microhardness change caused by calcium silicate-based MTA and Endosequence BC materials in the canal and on the dentin surface.

Materials and Method: A total of 100 extracted caries-free (50 premolar, 50 third molar) human teeth were used in this study. Sections of 2 mm thickness were obtained from the middle third of premolar tooth roots and molar tooth crowns. The initial Knoop hardness values of the sections were measured. Sections were randomly divided into 6 groups. Group PEBC: Endosequence BC was applied into the root canal of premolar tooth sections. Group MEBC: Endosequence BC was applied to the dentin surface of the molar tooth sections. Group MMTA: MTA was applied to the dentin surface of molar tooth sections. Group PMTA: MTA was applied into the root canal of premolar tooth sections. Group PK and Group MK: Premolar and molar tooth sections without material were determined as the control group. The samples, which were kept at 37°C

for 21 days, were removed from the incubator and their microhardness measurements were repeated. Significant difference between groups was analyzed with ANOVA and Scheffe post hoc test at 95% significance level.

Results: Both materials caused a significant reduction of dentin microhardness compared to the control groups ($p < .05$). The application of the materials to the dentin surface caused a significant change in microhardness for both materials compared to the application into the root canal ($p < .05$).

Conclusion: MTA and Endosequence BC materials reduced dentin microhardness.

Key words: Dentin, calcium silicate, microhardness, MTA

GİRİŞ

Endodontik tedavide güta-perka ve bir kök kanal patı ile apikal tıkama sağlanarak konvansiyonel kök kanal dolumu gerçekleştirilir.¹ Ancak günümüzde ideal pat arayışı hala devam etmektedir. Kalsiyum silikat esaslı materyaller, yüksek biyouyumlulukları, biyoaktif potansiyelleri, antimikrobiyal etkileri ve düşük çözünürlükleri nedeniyle oldukça önem kazanmıştır. Ayrıca bu malzemeler nemli ortamlarda iyi bir sızdırmazlık ve sertleşme kapasitesi sunar. Bu özellikler, kalsiyum silikat esaslı materyallerin kök kanal dolgu maddeleri olarak kullanılmak üzere modifiye edilmesine yol açmıştır.²

Kök kanal dolgu materyali olan MTA (Angelus, Londrina, PR, Brazil), direkt pulpa kuafajı, furkasyon perforasyonlarının ve kök rezorpsiyonların tamiri gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır.³ MTA'nın osteojenik, biyouyumlu ve sert doku oluşumunu indüklemeye özellikli bir materyal olduğu bilinmektedir. Güçlü alkalitesi sayesinde antibakteriyeldir. Sement benzeri sert doku oluşumunu uyarmakla birlikte osteoblastik tutunma ve kemik rejenerasyonu sağlar.^{4,5} Bu ürünün başarısına bağlı olarak, kalsiyum silikat esaslı malzemelerin kök kanal dolumunda bir pat olarak kullanılabileceği görülmüştür.⁶

MTA'nın uzun sertleşme süresi, manipülasyon zorluğu, sertleşme sırasında sıvı teması sonucunda çözünerek dağılma göstermesi ve diş yapısını boyaması gibi dezavantajlara sahiptir.^{7,8} Bu nedenle, özelliklerini daha da iyileştirmek için MTA ya alternatif olarak yeni kök onarım malzemeleri geliştirilmektedir.⁷ MTA gibi kalsiyum silikat esaslı materyaller olan biyoseramikler diş hekimliğinde klinik kullanımda alternatif malzemeler arasına girmektedir.⁶

EndoSequence BC (Brasseler, Savannah, GA) kalsiyum silikatlar, kalsiyum fosfat monobazik ve bizmut oksit içermeyen zirkonyum oksitten oluşan bir nano-biyoseramik malzemedir. Bu malzeme hidrofilik, çözünmez ve radyopaktır.

Aynı zamanda biyolojik olarak uyumludur ve yüksek alkali pH'ından dolayı antibakteriyel bir etkiye sahiptir. Ek olarak, biyoaktif ve biyolojik olarak rezorbe edilebilir, bu da materyalin, kemik rejenerasyonuna yol açan ve periodontal doku onarımını kolaylaştıran dinamik kemik oluşumu ve yeniden emilim sürecine katılmasına izin verir.⁹

Kök kanal patları ve kök ucu tamir materyalleri endodontik tedavi görmüş diş yapısını desteklemede önemli bir rol oynayabilir.¹ Ancak endodontik tedavili dişlerin güçlendirilmesinde kök kanal patlarının kullanımıyla net bir fayda sağlamayan çalışmalar da mevcuttur.^{9,10}

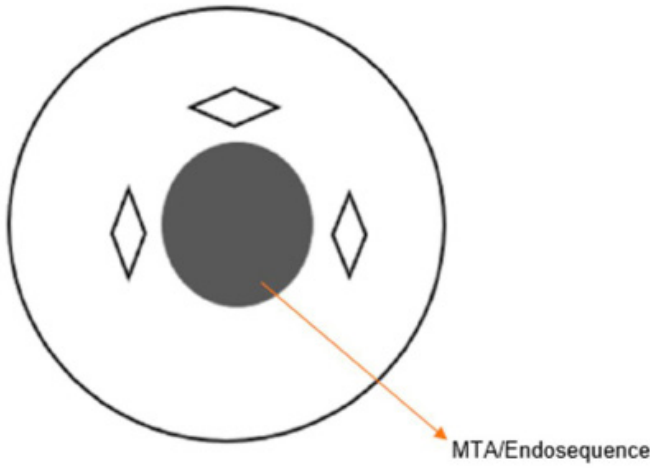
Kalsiyum silikat içerikli malzemelerin yüksek pH ve kimyasal özellikleri nedeniyle dentin üzerinde birtakım fiziksel değişikliklere yol açtığı bilinmektedir.¹¹ Bu çalışmanın amacı, MTA ve Endosequence BC materyallerinin farklı dentin yapılarının mikrosertliğine etkisinin değerlendirilmesidir. Bu çalışmada test edilen H_0 hipotezi MTA ve Endosequence BC materyallerinin farklı yapılarıdaki dentin sertliğini etkilemeyeceği yönündedir.

GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışma, Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'nun 2020/100.45 sayılı etik kurul raporu ile tıbben uygun bulunmuştur. Bu çalışmada örneklerin hazırlanması ve deneyin gerçekleştirilmesi Çukurova Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi araştırma laboratuvarında ve Çukurova Üniversitesi Merkez Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kök kanal gelişimi tamamlanmış, çürüksüz 50 adet mandibular premolar ve 50 adet mandibular 3. molar diş kullanılmıştır.

Kanal içi uygulaması için dentin örneklerin hazırlanması

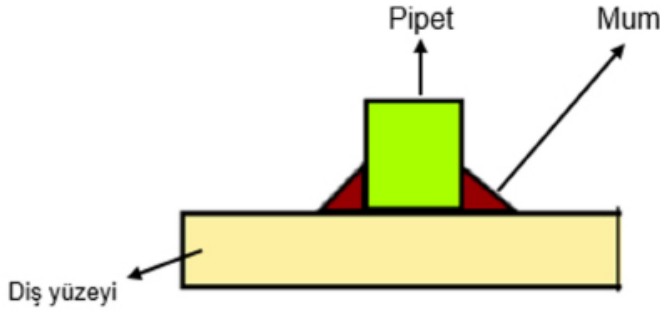
50 adet mandibular premolar çalışmaya dahil edilmiştir. Örnekler silikon kalıplara yerleştirilerek akrilik rezin (Imicryl, Konya, Türkiye) içerisine gömüldü. Örneklerin yerleştirildiği akrilik modellerden köklerin orta üçlüsünden olacak şekilde hassas kesme cihazı (Accutom 10, Struers, OH, USA) ile 2 mm kalınlıkta 50 adet kesit elde edildi. Kesitlerin kanal içi kısımları materyalleri yerleştirecek ve kanal preperasyonunu temsil edecek şekilde aeratör ile genişletilmiştir. Her bir kesit numaralandırıldı. Bu kesitlere mikrosertlik cihazı (Buehler MMT-3, Waukegan, IL, USA) ile 15 s boyunca 300 g kuvvet uygulanarak Knoop cinsinden sertlik değerleri Şekil 1'de gösterildiği gibi üç noktadan ölçüldü ve ortalama değerler kaydedilmiştir. İlk ölçüm sonrasında 20'şer kesit 2 materyal uygulama grubuna ve 10 kesit kontrol grubuna atandı.



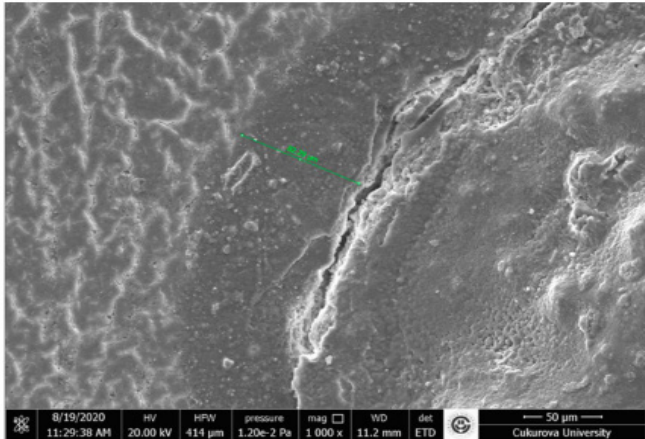
Şekil 1. Kanal çevresinden 1mm uzaklıkta olacak şekilde 3 noktadan gerçekleştirilen ölçüm

Dentin yüzey uygulaması için örneklerin hazırlanması

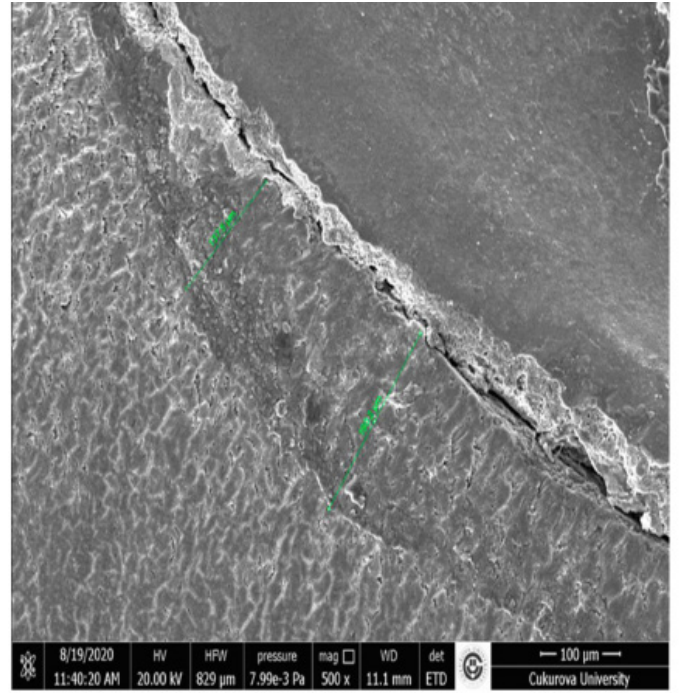
50 adet mandibular üçüncü molar çalışmaya dahil edilmiştir. Örnekler aynı şekilde akrilik rezin içerisine gömüldü. Örneklerin yerleştirildiği akrilik modeller mineyi içermeyecek ve kronun orta üçlüsünden olacak şekilde kesme cihazı ile 2 mm kalınlıkta 50 adet yatay kesit elde edilmiştir. Her bir kesit numaralandırıldı ve ilk mikrosertlik değerleri aynı şekilde ölçüldü ve 20'şer kesit 2 materyal uygulama grubuna ve 10 kesit kontrol grubuna atandı. İkinci ölçümden önce materyallerin uygulanması sırasında yayılmasının engellenmesi için Şekil 2'de gösterildiği gibi kesitlerin yüzeyine 1cm uzunluğunda kesilmiş 4 mm çapında pipetler mum yardımıyla sabitlendi.



Şekil 2. Yüzey dentinine materyal uygulanması için kesitler üzerine mum yardımıyla 1 cm uzunluğunda 4 mm çapında kesilmiş pipetin sabitlenmesi



Şekil 3. 1000x büyütmede premolar dişte MTA'nın kök kanalı çevresindeki dentini etkilediği alan (Oklarla sınırlandırılan etkilenmiş bölgenin genişliği 82.29 µm olarak ölçülmüştür.)



Şekil 4. Premolar dişte 500x büyütmede Endosequence BC materyallerinin kanal çevresinde etki ettiği alan gözlenmektedir. (Oklarla sınırlandırılan etkilenmiş bölgenin genişliği 190.2 µm'ye kadar ulaşmaktadır.)

Materyallerin uygulanması

MTA gruplarında firmanın önerdiği üzere 1:3 oranında karıştırılan MTA kanal içlerine yerleştirilirken, Endosequence grupları için ise şırınga halinde bulunan Endosequence BC enjekte edilmiştir. Nemli pamuk peletlerle materyallerin üstü kapatılmış, örnekler gazlı bezle örtülmüş ve petri kaplarına yerleştirilmiştir. 21 gün 37°C de beklemek üzere etüve yerleştirilmiş ve 3 günde bir örnekler nemlendirilmeye devam edilmiştir. 21 gün sonunda etüvden çıkarılan örnekler mikrosertlik ölçüm cihazıyla tekrar ölçüm yapılmış ve son değerler kaydedilmiştir.

Kanal içi MTA ve Endosequence BC uygulanmış kesitlerden rasgele birer örnek seçilerek malzemelerin dentin penetrasyonuna etkisi SEM (FEI, Quanta FEG 250, Almanya) altında incelendi.

İstatiksel analiz

SPSS Mac 26 versiyon programı (SPSS, Chicago, IL, ABD) kullanılarak veriler analiz edildi. Shapiro-Wilk testi kullanılarak verilerin normallik dağılımı açısından kontrolü sağlandı. Tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ve Scheffe post hoc testi ile gruplar arasındaki anlamlı fark analiz edilmiştir. Sertlik değişimleri arasındaki fark t test ve Wilcoxon sıra sayı testi kullanılarak değerlendirildi.

BULGULAR

Materyal uygulamasına bağlı ortalama dentin mikrosertlik Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Grupların ortalama mikrosertlik değerleri (KHN), standart sapmaları ve ilk ve son ölçümlerin istatistiksel analizi

Gruplar	n	İlk ölçüm	Son ölçüm	P değeri
PEBC	20	51.99±1.62 ^a	49.59±2.12 ^b	.000
MEBC	20	53.26±2.06 ^a	38.61±4.03 ^b	.000
PMTA	20	52.44±1.64 ^a	49.50±1.70 ^b	.000
MMTA	20	52.99±1.45 ^a	38.88±2.74 ^b	.004
PK	10	48.61±3.18 ^a	48.81±3.61 ^a	.487
MK	10	46.84±4.30 ^a	47.00±4.04 ^a	.463

a, b: Satır karşılaştırması

Çalışmamızda kullanılan materyallerin ikisi de hem kanal içi uygulamada hem de dentin yüzeyine uygulamada dentin mikrosertliğinin anlamlı derecede azalmasına yol açmıştır (p < .05). PK ve MK gruplarında, ilk ve son dentin sertlik değerleri arasında anlamlı bir fark bulunmamaktadır (p > .05).

Dentin mikrosertlik değişimi ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Dentin mikrosertlik değişim ortalamları (%), standart sapmaları ve dentin uygulama bölgesinin ve materyallerin mikrosertlik değişimine etkisinin istatistiksel analizi

	Kanal içi	Dentin yüzeyi	P değeri
Endosequence	4.64±1.99 ^{a,x}	27.22±9.60 ^{b,x}	.000
MTA	5.59±1.72 ^{a,x}	26.65±4.23 ^{b,x}	.000
Kontrol	1.34±1.15 ^{a,y}	1.11±1.01 ^{a,y}	.642
P değeri	.000	.000	

a, b: Satır karşılaştırması / x, y: Sütun karşılaştırması;

Direkt dentin yüzeyine uygulanan her iki materyal kanal içi uygulamaya göre daha fazla dentin sertlik kaybına yol açmıştır (p < .05). Aynı zamanda her iki materyal uygulama bölgesinde Endosequence BC ve MTA’nın kanal kontrol gruplarına göre daha fazla sertlik kaybı oluşturduğu gözlemlenmiştir (p < .05).

TARTIŞMA

Çalışmamızda kalsiyum silikat esaslı kanal patları olan Endosequence BC ve MTA materyallerinin dentinin mikrosertliği üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir ve iki materyalin de farklı dentin yapıları için mikrosertliği azalttığı bulunmuştur. Bu nedenle H₀ hipotezi reddedilmiştir

Endodontik tedaviye en fazla ihtiyaç duyulan dişler premolar ve molar dişlerdir.¹² Aynı zamanda çiğnemenin gerçekleştiği premolar ve molar dişler yüksek değerlerde okluzal kuvvete maruz kaldığından dolayı bu çalışmada bu dişler tercih edilmiştir.¹³ Endodontik olarak tedavi gören dişlerin kırılma oranının yüksek olduğu bilinmektedir.¹ Ayrıca sertlik değerlerinin düşmesi kırılma direncinde bir azalmaya ve dentin mikro çatlaklarına veya dikey kök kırıklarına neden olabilir.¹⁴ Bu nedenle bu materyallerin dentin dokusuna etkisi araştırılmıştır.

Mikrosertlik materyalin belirli bir yük altında gösterdiği direnci ifade eder. Bizim alanımızda mikrosertlik ölçüm yöntemi olarak sıklıkla Knoop ve Vickers sertlik testleri tercih edilmektedir. Knoop ve Vickers sertlik testleri arasında doğrusal bir korelasyon mevcuttur ve her ikisi de materyalleri incelemede eşit derecede uygun bulunmuştur.¹⁵ Knoop sertlik testi elmas eşkenar dörtgen şekillidir ve en

uzun köşegeninde ölçümler gerçekleştirilir. Vickers sertlik testi ise elmas piramidaldir ve dolayısıyla kare şeklinde bir girinti ortaya çıkartır. Her iki köşegen üzerinde ölçümler yapılır ve ortalama değerler elde edilir. Rezin kompozitler gibi polimerik materyaller, yük kaldırıldıktan sonra, elastik geri kazanım gösterirler. Bu nedenle, Vickers izlenimindeki her iki köşegeni etkileyerek sonuçları maskeleyebilir. Knoop izleniminde elastik geri kazanım en küçük köşegeni büyük ölçüde etkilediğinden dolayı elde edilen sonuçlar en az derecede etkilenir.¹⁶ Dentin de polimerik materyaller gibi elastik geri kazanım göstermektedir.¹⁷ Bu sebeple çalışmamızda Knoop ölçüm yöntemi tercih edilmiştir.

Çalışmamızda bildirilen ilk ölçümde ki ortalama sertlik değerleri (52,67) insan dentini (50-70 KHN) ile uyumludur.¹⁸ Kontrol grubundaki değerlerin ise ortalamadan düşük olması, dişlerin saklanma koşulları ve örneklerin hazırlanmasına bağlı olabilir. Ayrıca tübül yoğunluğu veya dentinin kimyasal bileşimindeki farklılıklar da bu duruma katkıda bulunmuş olabilir. Russell ve arkadaşları posterior dişlerin, "Kelebek Etkisi" olarak bilinen optik bir fenomen sergilediklerini bildirmişlerdir. Bu dişlerde mezyo-distal ile karşılaştırıldığında bukkolingual yönde önemli ölçüde daha yüksek dentin tübül yoğunluğu bulunmaktadır.¹⁹ Dolayısıyla kelebeğin kanatlarına karşılık gelen mezial ve distal yüzeyler daha yüksek sertlik değerine sahiptir.²⁰ Çünkü dentin sertliği ile tübül yoğunluk arasında ters ilişki mevcuttur. Bu ters ilişki muhtemelen sertlik ile mm² dentin başına kalsifiye matris miktarı arasındaki doğru ilişkiden kaynaklanmaktadır.²¹ Bu riski ortadan kaldırma amaçlı 3 farklı noktadan ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Mikrosertlik ölçüm yöntemleri ile dolaylı olarak mineral kaybı veya mineral kazancı hakkında bilgi verebilir.²² Ancak Knoop mikrosertlik ölçüm tekniği, yüzeyin yalnızca ortalama sertliğini hesapladığından ve ölçülen yapının total sertlik değişimini tespit edemediğinden, değerler arasında farklılık gözlemlenebilir.²³

Materyal yerleştirilmeden öncesi ve yerleştirildikten sonrası dentin sertlik değerlerinin karşılaştırılması aynı örnekler içerisinde yapılmıştır. Bu durum, farklı dişlerin yapısal varyasyonlarının etkisini en aza indirmek ve değerlendirme için makul bir temel oluşturmak için tercih edilmiştir.²⁴ İrrigantların kullanımı dentin dehidrasyonuna neden olur, elastik modülünü ve eğilme gücünü azaltır ve kökü kırılmaya daha duyarlı hale getirebilir.²⁵ Bu nedenle çalışmamızda sertlik değerlerini etkileyecek irrigant ya da dezenfektan gibi kimyasallar kullanılmamıştır.

Yüksek pH’ın dentin üzerindeki etkileri konusunda sınırlı sayıda araştırma mevcuttur. Yapılan bir çalışmada MTA benzeri malzemelerin sertleştikten sonra yüksek pH değeri nedeniyle mineralize dentinden biyoaktif matriks bileşenlerini çözebildiği bildirilmiştir.²⁶ Değişiklik gösteren mineral içerik oranı mikro sertliği azaltabilir ve dentinin geçirgenliğini ve çözünürlüğünü artırabilir. Yapısal ola-

rak destekleyici olmayan demineralize dentin dokusunun mikro sertliğinin korunması önemlidir.¹⁴ Bu çalışmada kullanılan materyaller (MTA 12,5; Endosequence BC 12,8) yüksek pH içeriğine sahiptir.²⁷⁻²⁹ Bu durum, çalışmamızda dentin sertliğinin azalmasında etkili olmuş olabilir. Kalsiyum hidroksit, MTA ve CEM simanının sıgır kök dentinin dayanıklılığı üzerindeki etkisini karşılaştıran bir çalışmada kullanılan üç materyalinde dentinin dayanıklılığını azalttığı tespit edilmiştir.³⁰ Sawyer ve arkadaşları insan dişlerinde kalsiyum silikat esaslı materyallerin dentinin eğilme dayanımı üstüne etkilerini incelemişler ve sonuçlar temelinde, bu çalışmada araştırılan kalsiyum silikat esaslı materyallerin, dentinin deformasyona direnme (dayanıklılık) ve kırılmadan enerji absorbe etme yeteneğini azalttığı sonucuna ulaşmışlardır.³¹ Sığır dişleri üzerinde gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise MTA 'nın dentin sertliğini %33 oranında azalttığı bulunmuştur.³² Bu değer bizim çalışmamızdaki oranlara benzerdir. Bu çalışmada iki materyal seçilmiştir. Farklı materyaller de çalışmaya eklenerek değişimler karşılaştırılabilir. Ayrıca uygulama süresi 28 gün ile sınırlıdır. Daha uzun sürelerdeki etkileri de gözlemlenmelidir. Bu değişimin süreci ve dentinin diğer fiziksel mekanik özelliklerine etkileri konusunda daha fazla araştırma yapılması gereklidir.

SONUÇ

Bu çalışmanın sınırlamaları dahilinde, kalsiyum silikat esaslı Endosequence BC ve MTA materyallerinin kullanımı direkt dentin dokusu üzerinde kuvvetli yumuşatma etkisi gösterirken kanal içi uygulaması da dentin dokusunu zayıflatmaktadır.

Kurumsal ve finansal destek beyanı

Bu araştırma TDH-2020-13086 proje numarası ile Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

1. Uzunoglu-Özyürek E, Eren SK, Karahan S. Effect of root canal sealers on the fracture resistance of endodontically treated teeth: A systematic review of in vitro studies. *Clinical oral investigations* 2018; 22(7): 2475-2485.
2. Silva EJNL, Ferreira CM, Pinto KP, Barbosa AFA, Colaço MV, Sassone LM. Influence of variations in the environmental pH on the solubility and water sorption of a calcium silicate-based root canal sealer. *Int Endod J* 2021; 54: 1394-1402
3. Torabinejad M, Chivian N. Clinical applications of mineral trioxide aggregate. *J Endod* 1999; 25(3): 197-205.
4. Hakki SS, Bozkurt SB, Hakki EE, Belli S. Effects of mineral trioxide aggregate on cell survival, gene expression associated with mineralized tissues, and biomineralization of cementoblasts. *J Endod* 2009; 35: 513-519.
5. Chen CL, Huang TH, Ding SJ, Shie MY, Kao CT. Comparison of calcium and silicate cement and mineral trioxide aggregate biologic effects and bone markers expression in MG63 cells. *J Endod* 2009; 35: 682-685.

6. Bilgiç A, Bodrumlu E. Biyoseramik Esaslı Kök Kanal Patları: Derleme. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi* 2016; 26(4): 111-117

7. Guo YJ, Du TF, Li HB, Shen Y, Mobuchon C, Hieawy A, Haapasalo, M. Physical properties and hydration behavior of a fast-setting bioceramic endodontic material. *BMC oral health* 2016; 16(1): 23.

8. Alamoudi RA, Abu Zeid ST. Effect of Irrigants on the Push-Out Bond Strength of Two Bioceramic Root Repair Materials. *Materials* 2019; 12: 1921

9. Apicella MJ, Loushine RJ, West LA, Runyan DA. A comparison of root fracture resistance using two root canal sealers. *Int Endod J* 1999; 32(5): 376-80.

10. Jainan A, Palamara JE, Messer HH. The effect of resin-based sealers on fracture properties of dentine. *Int Endod J* 2009; 42(2): 136-43.

11. Yoldaş O, Doğan C, Seydaoğlu G. The effect of two different calcium hydroxide combinations on root dentine microhardness. *Int Endod J* 2004; 37(12): 828-831.

12. Yücel AÇ, Şaklar F. Endodontik tedavi endikasyonu konulan dişlerin radyolojik ve klinik değerlendirilmesi. *Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi* 2004; 31(1): 27-32.

13. Ye Y, Di P, Jia S, Lin Y. Occlusal force and its distribution in the position of maximum intercuspation in individual normal occlusion: a cross-sectional study. *Chinese journal of stomatology* 2015; 50(9): 536-539.

14. Yılmaz S, Dumani A, Yoldas O. The effect of antibiotic pastes on microhardness of dentin. *Dental Traumatology* 2016; 32(1): 27-31.

15. Hofmann N, Hugo B, Schubert K, Klaiber B. Comparison between a plasma arc light source and conventional halogen curing units regarding flexural strength, modulus, and hardness of photoactivated resin composites. *Clinical oral investigations* 2000; 4(3): 140-147.

16. Poskus LT, Placido E, Cardoso PEC. Influence of placement techniques on Vickers and Knoop hardness of class II composite resin restorations. *Dental Materials* 2004; 20(8): 726-732.

17. Craig RG, Peyton FA. Elastic and mechanical properties of human dentin. *Journal of dental research* 1958; 37(4): 710-718.

18. Meredith N, Sherriff M, Setchell DJ, Swanson SA. Measurement of the microhardness and Young's modulus of human enamel and dentine using an indentation technique. *Arch Oral Biol* 1996; 41: 539-45.

19. Russell A, Friedlander L, Chandler N. Sealer penetration and adaptation in root canals with the butterfly effect. *Aus Endod J* 2018; 44(3): 225-234.

20. Russell AA, He LHC, Chandler NP. Investigation of

dentin hardness in roots exhibiting the butterfly effect. *J Endod* 2014; 40(6): 842-844.

21. Pashley D, Okabe A, Parham P. The relationship between dentin microhardness and tubule density. *Dental Traumatology* 1985; 1(5): 176-179.

12. Arends J, Ten Bosch JJ. Demineralization and remineralization evaluation techniques. *Journal of Dental Research* 1992; 71(3_suppl): 924-928.

23. Fuentes V, Toledano M, Osorio R, Carvalho RM. Microhardness of superficial and deep sound human dentin. *Journal of Biomedical Materials Research Part A: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials* 2003; 66(4): 850-853.

24. Saleh AA, Ettman WM. Effect of endodontic irrigation solutions on microhardness of root canal dentine. *J Dent* 1999; 27(1): 43-46.

25. Sim T, Knowles J, Ng YL, Shelton J, Gulabivala K. Effect of sodium hypochlorite on mechanical properties of dentine and tooth surface strain. *Int Endod J* 2001; 34(2): 120-32.

26. Tomson PL, Grover LM, Lumley PJ, Sloan AJ, Smith AJ, Cooper PR. Dissolution of bio-active dentine matrix components by mineral trioxide aggregate. *J Dent* 2007; 35(8): 636-642.

27. Torabinejad M, Hong CU, McDonald F, Ford TP. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *J Endod* 1995; 21(7): 349-353.

28. Candeiro GT, Correia FC, Duarte MA, Ribeiro-Siqueira DC, Gavini G. Evaluation of radiopacity, pH, release of calcium ions, and flow of a bioceramic root canal sealer. *J Endod* 2012; 38: 842-845.

29. Stenhouse M, Zilm P, Ratnayake J, Cathro P. Investigation of the effect of rapid and slow external pH increases on *Enterococcus faecalis* biofilm grown on dentine. *Aus Dental Journal* 2018; 63(2): 224-230.

30. Sahebi S, Nabavizadeh M, Dolatkhah V, Jamshidi D. Short term effect of calcium hydroxide, mineral trioxide aggregate and calcium-enriched mixture cement on the strength of bovine root dentin. *Iran Endod J* 2012; 7: 68-73.

31. Sawyer AN, Nikonov SY, Pancio AK, Niu LN, Agee KA, Loushine RJ, Weller RN, Pashley DH, Tay FR. Effects of calcium silicate-based materials on the flexural properties of dentin. *J Endod* 2012; 38: 680-683.

32. White JD, Lacefield WR, Chavers LS, Eleazer PD. The effect of three commonly used endodontic materials on the strength and hardness of root dentin. *J Endod* 2002; 28(12): 828-830.