

# BİYOSERAMİK ESASLI KÖK KANAL PATLARININ FİZİKOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

## *Evaluation of Physicochemical Properties of Bioceramic Based Root Canal Sealers*

Nesrin BEYAZASLAN<sup>1</sup>  Neslihan Büşra KESKİN<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti ABD, ANKARA, TÜRKİYE

### ÖZ

Bu derleme biyoseramik esaslı kök kanal patlarının biyouyumluluğu, akıcılığı, antimikrobiyal özelliği, sökülebilirliği, periapikal iyileşme ve post operatif ağrı gibi biyolojik ve fiziksel özellikleri açısından yapılan çalışmalar ışığında sunulmaktadır. Bu derlemeye göre biyoseramik esaslı kök kanal patları geleneksel kök kanal patlarına göre daha üstün sonuçlar gösterse de kök kanal sisteminden sökülme zorluğu gibi dezavantajı bulunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Biyoseramik esaslı kök kanal patı, fizikokimyasal özellik, diş hekimliği

### ABSTRACT

This review is presented in the light of studies on the biological and physical properties of bioceramic-based root canal sealers such as biocompatibility, flowability, antimicrobial properties, removability, periapical healing, and post-operative pain. According to this review, although bioceramic-based root canal sealers shows superior results compared to traditional root canal sealers, they have the disadvantage of being difficult to remove from the root canal system.

**Keywords:** Bioceramic canal sealer, physicochemical property, dentistry



Yazışma Adresi / Correspondence:

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti ABD, ANKARA, TÜRKİYE

Tel / Phone: +905055253037

Geliş Tarihi / Received: 12.06.2024

Dr. Neslihan Büşra KESKİN

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti ABD, ANKARA, TÜRKİYE

E-posta / E-mail: ozerolbkeskin@gmail.com

Kabul Tarihi / Accepted: 02.09.2024

## GİRİŞ

Biyoseramik esaslı kök kanal patları yapılarında, temel madde olarak dikalsiyum ve trikalsiyum silikat içeren kök kanal patlarıdır. Biyoseramik esaslı kök kanal patlarının biyolojik ve fiziksel özelliklerinin geleneksel kök kanal patlarına göre daha üstün olması sonucunda endodontide kullanımı gittikçe artmaktadır (1). Kalsiyum silikat esaslı kanal patları, kök kanal tamirinde kullanılan mineral trioksit agregatın (MTA) kök kanal dolgusu için geliştirilmiş bir versiyonu olarak düşünülmektedir (2). Geleneksel kök kanal patlarından farklı olarak, biyoseramik esaslı patlar sertleşme reaksiyonlarını başlatmak için neme ihtiyaç duyar (3). Biyoseramiklerin kök kanal patı olarak kullanımı ilk olarak 1984 yılında Krell ve Wefel tarafından yapılan bir çalışmada deneysel bir kalsiyum fosfat patı ve Grossman patı apikal tıkama, dentin tübüllerinin tıkanması, adezyon, kohezyon ve morfolojik görünüşleri açısından karşılaştırılmıştır. Bu iki kanal patının benzer olduğunu bildirmişlerdir (4).

### Biyoseramik Esaslı Kök Kanal Patlarının İdeal Özellikleri

#### *Biyouyumluluk*

Kök kanal dolgu materyallerinin doğrudan periapikal dokularla temas halinde olabilmelerinden dolayı biyouyumluluk bu materyallerde bulunması gereken en önemli özelliklerden biridir. Biyoseramik esaslı patların biyouyumluluğunu değerlendirmek için fare ve insan osteoblast hücreleri ve insan periodontal ligament hücreleri kullanılarak in vitro çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, biyoseramik esaslı patların çoğunun biyouyumlu olduğu bulunmuştur (5-7). Biyoseramik esaslı patların biyouyumluluğunun temelini, yapılarında bulunan kalsiyum fosfat oluşturur. Kalsiyum fosfat, kemik ve diş gibi sert dokuların ana inorganik bileşenidir. Literatürde, birçok biyoseramik esaslı patın, kanal dolumu sırasında istenmeden apikalden taşırıldığında veya kök perforasyonlarının tamirinde kullanıldığında kemik rejenerasyonunu destekleme kabiliyetine sahip oldukları bildirilmiştir (5,8). Çalışmalar kalsiyum fosfat esaslı Capseal I ve Capseal II patlarının diğer patlara kıyasla daha az doku irritasyonu ve daha az iltihaplanma göstermiştir (5,8,9).

#### *Sertleşme Zamanı*

İdeal bir kök kanal patı, işlem sırasında hekime yeterli çalışma zamanı sunmalıdır. Farklı üreticiler tarafından sunulan patlar, sertleşme süreleri bakımından çeşitlilik gösterir. Zhou ve ark.'nın 2013 yılında yaptığı çalışmada, *Endosequence BC sealer*'in sertleşme süresi diğer bazı kök kanal patlarıyla karşılaştırılmıştır. *Endosequence BC sealer*'in sertleşme süresi 2.7 saat olarak belirlenmiştir. Bu süre, MTA *Fillapex* ile benzer, *AH Plus*, *Thermaseal* ve *Pulp canal sealer* (Kerr) (PCS)'dan daha kısa, *Gutta Flow*'dan (Coltene) ise daha

uzundur (10). Siboni ve ark. *Bioroot* RCS için sertleşme süresini 300 dakika olarak bildirmişlerdir (11). Lee ve ark., farklı kök kanal patlarının sertleşme sürelerini %95 nemli ortamda 37°C'de test etmişlerdir. Paslanmaz çelik disklere yerleştirilen patlar gözlemlenmiştir. *Endosequence BC sealer* ve MTA *Fillapex*, çalışma süresi boyunca sertleşmemiştir. *Endoseal* MTA'nın (Maruchi) sertleşmesi 1223 dakika (yaklaşık 20 saat) sürmüştür (12). Zordan-Bronzel ve ark., kalsiyum silikat esaslı kanal patlarının fiziksel ve kimyasal özelliklerini inceledikleri bir çalışmada; sertleşme süresinin patın kimyasal bileşimi ve kök kanalının nemi ile nasıl etkilendiğini araştırmışlardır. Sonuç olarak; sertleşme süresinin materyalin kimyasal bileşiminden olduğu kadar, kök kanalının içindeki nem miktarından da etkilenebileceğini bildirmişlerdir (13).

#### *Akıcılık*

Bununla birlikte, kanal patının fazla akıcı olması patın apikal foramenden taşırılmasına sebep olabilir. ISO 6786/2001'e göre bir kök kanal patının akıcılık oranı, en az 20 mm olmalıdır (14). Zhou ve ark. çalışmasında *Endosequence BC sealer*'in akıcılık değeri 23.1 mm olarak ölçülmüştür (10). Ancak Lee ve ark. çalışmasında, *Endosequence BC sealer* için 18.45 mm gibi daha düşük bir akıcılık değeri bulunmuştur. Bu değer, standartların altında kalmaktadır. Bu değer, ISO ve ANSI/ADA tarafından belirlenen minimum akıcılık değerlerinin (sırasıyla >20 mm ve >25 mm) altında kalmıştır. Aynı çalışmada *Endoseal* MTA ve MTA *Fillapex*'in akıcılıklarının ise yeterli olduğu sonucuna varılmıştır (12).

#### *Sökülebilirlik*

Kanal yenileme tedavisinin başarısında rol oynayan faktörlerden biri, kanal dolgu materyalinin kök kanalından güvenilir ve farklı yöntemlerle tamamen uzaklaştırılabilmesidir. Wilcox ve ark.'nın 1987 yılında yaptığı araştırmada, yeniden tedavi vakalarında kök kanalında kalan materyalin büyük çoğunluğunun kanal patı olduğu gösterilmiştir. Bu bulgu, kanal patlarının kök kanal tedavisinde önemli bir engel teşkil ettiğini ve sağlıklı periapikal dokular elde etmek için tamamen çıkarılması gerektiğini vurgulamaktadır (15). *EndoSequence BC Sealer*'in ısı, kloroform, döner aletler ve el eğeleri gibi geleneksel yöntemler kullanılarak kök kanalından uzaklaştırılması zordur (16). Ersev ve ark. araştırmalarına göre, *EndoSequence BC Sealer* patı, *AH Plus* patı ile benzer şekilde uzaklaştırıldıklarını bildirmişlerdir (17). MTA *Fillapex* ve *AH Plus* patlarının sökülebilirlik özellikleri, çalışma uzunluğuna ulaşma süresi, dentin kaldırma kapasitesi ve kanal içerisinde kalan dolgu malzemesi miktarı gibi parametreler üzerinden karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, her iki pat da benzer sökülebilirlik performansı göstermiştir (18).

### Çözünürlük

Kök kanal patları için çözünürlük, kanal dolgu patının ne kadar kolay eriyebildiğini veya parçalanabildiğini gösteren bir ölçüttür. ANSI/ADA spesifikasyon 57'ye göre bir kök kanal patının çözünürlüğü %3'lük kütle kaybını geçmemelidir (19). Shinbori ve ark.'nın 2015 yılında yaptığı çalışmada, biyoseramik patların kök kanalında boyutsal olarak stabil kaldığı ve taşırıldığında ise çözüldüğü gösterilmiştir (20). Zhou ve ark.'nın 2013 yılında yaptığı bir başka çalışmada ise, biyoseramik patların rezin ve silikon esaslı patlardan daha fazla çözünür olduğu belirtilmiştir (10).

### Radyoopasite

Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO) tarafından yayınlanan ISO 6876/2001 standardına göre, kök kanal patlarının minimum radyoopasitesi 3 mm alüminyum olmalıdır (14). Biyoseramik patların radyoopasitesini, içeriğindeki baryum sülfat, zirkonyum oksit ve kalsiyum tungstat gibi elementler sağlar (21). Candeiro ve ark.'nın 2012 yılında yaptığı çalışmada, biyoseramik esaslı kök kanal patlarının radyoopasitesinin 3.8 mm alüminyum ile karşılaştırılabilir olduğu ve bu nedenle kanal dolgusunda rahatlıkla kullanılabilmesi belirtilmiştir (22).

### Antimikrobiyal Özellik

Biyoseramik esaslı patların antimikrobiyal özelliklere sahip olması alkali pH'a, yüksek kalsiyum iyon salınımına ve hidroksiapatit oluşumuna bağlıdır (22,23). Biyoseramik esaslı patların *E. faecalis*'e karşı antibakteriyel etkinliklerinin olduğu ve sitotoksitesinin minimum düzeyde olduğu da bildirilmiştir (24). Zhang ve ark. *E. faecalis* bakterisi üzerinde *iRoot* SP'nin antibakteriyel etkinliğini değerlendirmek için yaptıkları çalışmada, *iRoot* SP'nin sertleştikten sonra bile yüksek bir pH (11.5) değerine sahip olduğu, ancak antibakteriyel etkinliğinin 7 günden sonra büyük oranda azaldığı tespit edilmiştir (25). Morgental ve ark. tarafından yapılan bir çalışmada, Endo CPM ve MTA *Fillapex*'in *Enterococcus faecalis* (*E. faecalis*) bakterisine karşı antibakteriyel etkinlikleri incelenmiştir. Endo CPM süspansiyonunun pH değeri MTA *Fillapex*'ten daha yüksek (>11) bulunmuştur. Fakat, MTA *Fillapex* tarafından üretilen bakteriyel inhibisyon zonu Endo CPM'den daha büyük olduğu gözlemlenmiştir (26).

MTA-Angelus patı, *Micrococcus luteus*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Candida albicans* gibi çeşitli mikroorganizmalara karşı antibakteriyel etkinliğe sahiptir (27). Suwartini ve ark. kalsiyum hidroksit esaslı kök kanal patları ile biyoseramik esaslı kök kanal patlarının *P. gingivalis*, *E. faecalis* ve *C. albicans* biyofilmleri üzerine antimikrobiyal özelliklerini karşılaştırmışlardır. Biyoseramik esaslı kök kanal patlarının *P. gingivalis* ve *E. faecalis* biyofilmlerine

karşı etkili olduğunu bildirmişler. Ancak gerçek zamanlı PCR yöntemi kalsiyum hidroksit esaslı patların biyoseramiklerden önemli ölçüde daha etkili olduğunu ve *C. albicans*'a daha etkili olduğu sonucuna varmışlardır (28).

### Adhezyon

Kök kanal tedavisinde kullanılan biyoseramik patlar, sadece sızdırmazlık değil, aynı zamanda dentin ve *core* materyali arasında sağlam bir bağlantı oluşturma yeteneği ile de öne çıkmaktadır (29). Ersahan ve Aydın'ın 2010 yılında yaptığı bir başka çalışmada ise, *iRoot* SP biyoseramik patının dentine bağlanma gücünün AH *Plus* patı ile benzer, fakat Sealapex veya EndoREZ patından daha güçlü olduğu bildirilmiştir (30). Shokouhinejad ve ark.'nın 2013 yılında yaptığı çalışmada, *EndoSequence* BC ve AH *Plus* patlarının *smear* tabakası varlığında veya yokluğunda bağlanma dayanımı karşılaştırılmıştır. Çalışmada, *smear* tabakasının varlığının her iki patı için de bağlanma dayanımını önemli ölçüde etkilemediği, ancak her iki patının da dislokasyon direncinin benzer olduğu belirlenmiştir (31). Sagsen ve ark.'nın 2011 yılında yaptığı bir başka çalışmada ise MTA *Fillapex*, *iRoot* SP ve AH *Plus* patlarının koronal, orta ve apikal bölgelerde bağlanma dayanımı karşılaştırılmıştır. Koronal bölgede anlamlı bir fark bulunmazken, orta ve apikal bölgelerde *iRoot* SP ve AH *Plus* patların bağlanma dayanımı MTA *Fillapex*'ten daha yüksek bulunmuştur (32).

ProRoot Endo patı, AH *Plus* Jet ve *Pulp Canal Sealer*'a kıyasla kök dentine çok daha güçlü bir şekilde bağlanır. Bunun bağlanma gücü ise, amorf kalsiyum fosfat varlığı ve sürtünme direncini artıran apatite benzeri fazlar sayesinde olduğu belirtilmiştir (33). Kalsiyum fosfat içerikli sankin apatit kök kanal patının üç tipinin de (Tip 1, Tip 2 ve Tip 3) sızdırmazlık düzeyinin Grossman patı ile karşılaştırıldığı bir çalışmada, tüm patlarda minimal sızıntı elde edilmiştir. Ayrıca, patların sızdırmazlığı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığı saptanmıştır (34). Endo CPM patının dentine bağlanma dayanımının, MTA *Fillapex* ve AH *Plus* patından daha yüksek olduğu bildirilmiştir (35).

### Film Kalınlığı

Film kalınlığı; kanal patının belirli bir yük altında gösterebileceği minimal kalınlık olarak tanımlanmaktadır. Film kalınlığının küçük olması, pata, daha iyi adaptasyon yeteneği kazandırmakta ve bu da kanal içerisindeki düzensizliklere, boşluklara ve dentin tübüllerine girişini kolaylaştırmaktadır (10). Biyoseramik temelli kanal patlarının film kalınlıklarının ISO 6876/2001 standardına uygun olduğu belirlenmiştir (36).

Zhou ve ark. yaptıkları bir çalışmada 6 farklı kök kanal patını (MTA *Fillapex*, *Endosequence* BC, AH *Plus*, *ThermaSeal*, *Gutta Flow*, *Pulp Canal Sealer*) fiziksel

özellikleri bakımından karşılaştırmışlardır. MTA *Fillapex* ve *Endosequence BC* diğer kök kanal patlarına kıyasla daha yüksek film kalınlığı gösterdiği bildirilmiştir (10). Sıcak dolgu tekniklerinin artan kullanımıyla birlikte Donnermeyer ve ark. yaptığı bir çalışmada *Total fill BC* ve *Total fill Hiflow* kök kanal patının film kalınlığının ısıdan etkilenmediğini bildirmişlerdir (37). Kök kanal patlarını ısı ile etkileşimi sonrası film kalınlığının artması ısının neden olduğu sertleşme süresinin hızlanmasıyla açıklanmıştır (38).

### Periapikal İyileşme ve Post operatif Ağrı

Çalışkan ve ark. yaptıkları bir çalışmada postoperatif ağrı açısından MTA *Fillapex* ve *AH Plus* kök kanal patını değerlendirmişler. MTA *Fillapex* ve *AH Plus* kök kanal patının benzer olduğunu bildirmişlerdir (39). Nagar ve ark. yaptıkları bir çalışmada biyoseramik esaslı *Smart* patı, MTA içerikli *Proroot*, rezin içerikli *AH Plus* ve çinkooksit ojenol içerikli *Septodont* ismi kök kanal patlarını post op ağrı ve lezyon iyileşmesi açısından kıyaslamışlardır. Post-op ağrı açısından biyoseramik esaslı kök kanal patını diğer gruplara göre istatistiksel olarak anlamlı derecede ağrıyı azalttığını bildirmişler. Lezyon iyileşmesi açısından biyoseramik esaslı kök kanal patının en yüksek verimliliğe sahip olduğunu ardından MTA, *AH Plus* ve çinko oksit ojenol içerikli patın geldiğini bildirmişlerdir (40). Seron ve ark. biyoseramik patların 24 saat sonra postoperatif endodontik ağrıyı azalttığını ve *AH Plus* patlara kıyasla daha az pat ekstrüzyonu gösterdiğini bildirmişlerdir (41).

### Diş Yapısının Renklenmesi

Kanal dolgu patları dişte renk değişimine yol açmamalıdır. Pulpa odasından uzaklaştırılamayan pat kalıntılarının kromojenik etkileri dişin rengini değiştirebilir. Bu nedenle, kanal patı veya dolgu materyallerinin kalıntıları pulpa odasından tamamen temizlenmelidir. MTA-*Fillapex*'in klinik olarak fark edilemeyecek kadar az bir renk değişimine neden olduğu belirlenmiştir (42).

Mevcut literatür kalsiyum silikat esaslı kök kanal patlarının perforasyon onarımı, apeksifikasyon, revaskülarizasyon/rejenerasyon, endodontik cerrahi ve kök kanal dolgu patı olarak başarıyla kullanılabileceğini göstermektedir. Bu patları klinik uygulama için seçerken sertleşme süresi renk değiştirme potansiyeli, çözünürlük gibi özellikleri dikkate alınmalıdır.

Biyouyumluluk, biyoaktivite, iyi antimikrobiyal özellikleri gibi birçok avantajının yanı sıra retreatment tedavisinde kök kanalından sökümünün zor olması ve bu işlem için ek zamana ihtiyaç olması gibi dezavantajları bulunmaktadır.

**Çatışma Beyanı:** Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

**Araştırmacıların Katkı Oran Beyanı:** Fikir/Kavram: NB, NBK; Tasarım: NB, NBK; Denetleme/Danışmanlık: NB, NBK; Veri Toplama ve/veya İşleme: NB, NBK; Analiz ve/veya Yorum: NB, NBK; Kaynak Taraması: NB, NBK; Makalenin Yazımı: NB, NBK; Eleştirel İnceleme: NB, NBK; Kaynaklar: NB, NBK.

**Destek ve Teşekkür Beyanı:** Çalışma için hiçbir kurum ya da kişiden finansal destek alınmamıştır.

### KAYNAKLAR

1. Çiftçioğlu E, Küçükay ES. Endodontide biyoseramik kök kanalı sealerlerinin kullanımı. Sazak Öveçoğlu H, editör. Kök Kanallarının Doldurulması. 1. Baskı. Ankara: Türkiye Klinikleri. 2019;1:37-46.
2. Camilleri, J. Classification of hydraulic cements used in dentistry. *Front Dent Med.* 2020;1:9.
3. Torres FFE, Zordan-Bronzel CL, Guerreiro-Tanomaru JM, Chávez-Andrade GM, Pinto JC, Tanomaru-Filho M. Effect of immersion in distilled water or phosphate-buffered saline on the solubility, volumetric change and presence of voids within new calcium silicate-based root canal sealers. *Int Endod J.* 2020;53(3):385-391.
4. Krell KF, Wefel JS. A calcium phosphate cement root canal sealer-scanning electron microscopic analysis. *J Endod.* 1984;10(12):571-576.
5. Bae WJ, Chang, SW, Lee SI, Kum KY, Bae KS, Kim EC. Human periodontal ligament cell response to a newly developed calcium phosphate-based root canal sealer. *J Endod.* 2010;36(10):1658-1663.
6. Loushine BA, Bryan TE, Lome SW, et al. Setting properties and cytotoxicity evaluation of a premixed bioceramic root canal sealer. *J Endod.* 2011;37(5): 673-677.
7. Salles LP, Gomes-Cornélio AL, Guimarães FC. Mineral trioxide aggregate-based endodontic sealer stimulates hydroxyapatite nucleation in human osteoblast-like cell culture. *J Endod.* 2012;38(7):971-976.
8. Bryan TE, Khechen K, Brackett MG, et al. *In vitro* osteogenic potential of an experimental calcium silicate-based root canal sealer. *J Endod.* 2010;36(7):1163-1169.
9. Kim JS, Baek SH, Bae KS. *In vivo* study on the biocompatibility of newly developed calcium phosphate-based root canal sealers. *J Endod.* 2004;30(10):708-711.
10. Zhou HM, Shen Y, Zheng W, Li LI, Zheng YF, Haapasalo M. Physical properties of 5 root canal sealers. *J Endod.* 2013;39(10):1281-1286.
11. Siboni F, Taddei P, Zamparini F, Prati C, Gandolfi MG. Properties of BioRoot RCS, a tricalcium silicate endodontic sealer modified with povidone and polycarboxylate. *Int Endod J.* 2017;50:e120-e136.
12. Lee JK, Kwak SW, Ha JH, Lee W, Kim HC. Physicochemical properties of epoxy resin-based and bioceramic-based root canal sealers. *Bioinorg Chem Appl.* 2017;2017:2582849.
13. Zordan-Bronzel CL, Torres FFE, Tanomaru-Filho M, Chávez-Andrade GM, Bosso-Martelo R, Guerreiro-Tanomaru JM. Evaluation of physicochemical properties of a new calcium silicate-based sealer, Bio-C Sealer. *J Endod.* 2019;45(10):1248-1252.
14. Dental root canal sealing materials, I ISO 6876, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2001.

15. Wilcox LR, Krell KV, Madison S, Rittman B. Endodontic retreatment: Evaluation of gutta-percha and sealer removal and canal instrumentation. *J Endod.* 1987;13(9): 453-457.
16. Erdemir A, Adanir N, Belli S. *In vitro* evaluation of the dissolving effect of solvents on root canal sealers. *J Oral Sci.* 2003;45(3):123-126.
17. Ersev H, Yılmaz B, Dinçol ME, Dağlaroğlu R. The efficacy of ProTaper Universal rotary retreatment instrumentation to remove single gutta-percha cones cemented with several endodontic sealers. *Int Endod J.* 2012;45(8):756-762.
18. Neelakantan P, Grotra D, Sharma S. Retreatability of 2 mineral trioxide aggregate-based root canal sealers: A cone-beam computed tomography analysis. *J Endod.* 2013;39(7):893-896.
19. American National Standards Institute/American Dental Association, & American National Standards Institute/American Dental Association. (2000). Specification No. 57, Endodontic sealing materials. New York.
20. Shinbori N, Grama AM, Patel Y, Woodmansey K, He J. Clinical outcome of endodontic microsurgery that uses EndoSequence BC root repair material as the root-end filling material. *J Endod.* 2015;41(5):607-612.
21. Camilleri J, Gandolfi MG. Evaluation of the radiopacity of calcium silicate cements containing different radiopacifiers. *Int Endod J.* 2010;43(1):21-30.
22. Miranda Candeiro GT, Correia FC, Duarte MAH, 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(6):842-845.
23. Borges R, Sousa-Neto MDD, Versiani MA, et al. Changes in the surface of four calcium silicate-containing endodontic materials and an epoxy resin-based sealer after a solubility test. *Int Endod J.* 2012;45(5):419-428.
24. Candeiro GDM, Moura-Netto CD, D'Almeida-Couto RS. Cytotoxicity, genotoxicity and antibacterial effectiveness of a bioceramic endodontic sealer. *Int Endod J.* 2016;49(9):858-864.
25. Zhang H, Shen Y, Ruse ND, Haapasalo M. Antibacterial activity of endodontic sealers by modified direct contact test against *Enterococcus faecalis*. *J Endod.* 2009;35(7):1051-1055.
26. Morgental RD, Vier-Pelisser FV, Oliveira SDD, Antunes FC, Cogo DM, Kopper PMP. Antibacterial activity of two MTA-based root canal sealers. *Int Endod J.* 2011;44(12):1128-1133.
27. Tanomaru-Filho M, Tanomaru JM, Barros DB, Watanabe E, Ito IY. *In vitro* antimicrobial activity of endodontic sealers, MTA-based cements and Portland cement. *J Oral Sci.* 2007;49(1):41-45.
28. Suwartini T, Santoso J, Widayman AS, Ratnasari D. Efficacy of ioceramic and calcium hydroxide-based root canal sealers against pathogenic endodontic biofilms: An *In vitro* study. *Contemp Clin Dent.* 2022;13(4):322-330.b
29. Koch K, Brave D. The increased use of bioceramics in endodontics. *Dentaltown.* 2009;10:39-43.
30. Ersahan S, Aydin C. Dislocation resistance of iRoot SP, a calcium silicate-based sealer, from radicular dentine. *J Endod.* 2010;36(12):2000-2002.
31. Shokouhinejad N, Gorjestani H, Nasseh AA, Hoseini A, Mohammadi M, Shamshiri AR. Push-out bond strength of gutta-percha with a new bioceramic sealer in the presence or absence of smear layer. *Aust Endod J.* 2013;39(3):102-106.
32. Sagsen B, Ustün Y, Demirbuga S, Pala K. Push-out bond strength of two new calcium silicate-based endodontic sealers to root canal dentine. *Int Endod J.* 2011;44(12):1088-1091.
33. Huffman BP, Mai S, Pinna L, ve ark. Dislocation resistance of ProRoot Endo Sealer, A calcium silicate-based root canal sealer, from radicular dentine. *Int Endod J.* 2009;42(1):34-46.
34. Bilginer S, Esener IT, Söylemezoğlu F, Tiftik AM. The investigation of biocompatibility and apical microleakage of tricalcium phosphate based root canal sealers. *J Endod.* 1997;23(2):105-109.
35. Assmann E, Scarparo RK, Böttcher DE, Grecca FS. (2012). Dentin bond strength of two mineral trioxide aggregate-based and one epoxy resin-based sealers. *J Endod.* 2012;38(2):219-221.
36. Zhu L, Yang J, Zhang J, et al. *In vitro* and *in vivo* evaluation of a nanoparticulate bioceramic paste for dental pulp repair. *Acta Biomaterialia.* 2014;10(12):5156-5168.
37. Donnermeyer D, Ibing M, Bürklein S, et al. Physico-chemical investigation of endodontic sealers exposed to simulated intracanal heat application: Hydraulic calcium silicate-based sealers. *Materials.* 2021;14(4):728.
38. Ashkar I, Sanz, JL, Forner L, Ghilotti J, Melo M. A literature review of the effect of heat on the physical-chemical properties of calcium silicate-based sealers. *J Endod.* 2024;50(8):1044-1058
39. Coşar M, Kandemir Demirci G, Çalışkan MK. The effect of two different root canal sealers on treatment outcome and post-obturation pain in single-visit root canal treatment: A prospective randomized clinical trial. *Int Endod J.* 2023;56(3):318-330.
40. Nagar N, Kumar N. A comparative clinical evaluation of a bioceramic root canal sealer with MTA based sealer, resin based sealer and zinc oxide based sealer-an *in vivo* study. *J Dent Med Sci.* 2018;17:81-85.
41. Seron MA, Nunes GP, Ferrisse TM. Postoperative pain after root canal filling with bioceramic sealers: A systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. *Odontology.* 2023;111(4):793-812.
42. Ioannidis K, Mistakidis I, Beltes P, Karagiannis V. Spectrophotometric analysis of crown discoloration induced by MTA-and ZnOE-based sealers. *J Appl Oral Sci.* 2013;21:138-144.