

# ORJİNAL ARAŞTIRMA

## Original Article

Yazışma adresi  
Correspondence address

Öznur GÜÇLÜER  
Akdeniz Üniversitesi,  
Diş Hekimliği Fakültesi,  
Endodonti Anabilim Dalı,  
Antalya, Türkiye  
gucluertuncay@hotmail.com

Geliş tarihi / Received : 13 Ağustos 2024  
Kabul Tarihi / Accepted : 22 Ağustos 2024  
E-Yayın Tarihi / E-Published : 30 Ağustos 2024

Bu makalede yapılacak atıf  
Cite this article as

Güçlüer Tuncay Ö, Kuştarıcı A.  
Kök kanal dezenfeksiyonunda Er,Cr:YSGG  
lazerin farklı dozlarının apikalden taşan  
sıvı miktarına etkisi

Akd Diş Hek 2024;3(2): 67-71

Öznur GÜÇLÜER TUNCAY  
Akdeniz Üniversitesi,  
Diş Hekimliği Fakültesi,  
Endodonti Anabilim Dalı,  
Antalya, Türkiye

ORCID ID: 0000-0001-7835-0439

Alper KUŞTARCI  
Akdeniz Üniversitesi,  
Diş Hekimliği Fakültesi,  
Endodonti Anabilim Dalı,  
Antalya, Türkiye

ORCID ID: 0000-0002-4942-3739

## Kök Kanal Dezenfeksiyonunda Er,Cr:YSGG Lazerin Farklı Dozlarının Apikalden Taşan Sıvı Miktarına Etkisi

## Effect of Different Doses of Er,Cr:YSGG Laser on the Amount of Apical Fluid Extrusion in Root Canal Disinfection

### ÖZ

#### Amaç:

Bu çalışmada, kök kanal sisteminin dezenfeksiyonu için kullanılan geleneksel iğne irrigasyonu (Gİİ) ile Er,Cr:YSGG lazerle aktive irrigasyon (LAİ) yöntemlerinin apikal taşma miktarı üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır.

#### Gereç ve Yöntemler:

Yetmiş beş adet tek köklü insan alt çene premolar diş kullanılarak gerçekleştirilen deneyde, dişler kök kanal şekillendirme işlemlerinden sonra farklı güç ayarlarında (0.25W, 0.50W, 0.75W ve 1W) LAİ ve Gİİ ile işleme tabi tutulmuştur.

#### Bulgular:

Elde edilen bulgular kök ucundan taşan sıvı miktarının en yüksek Gİİ grubunda olduğunu ve 0.25W lazer grubunda en düşük olduğunu göstermiştir. Lazer grupları arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunamamıştır.

#### Sonuçlar:

LAİ'nun özellikle düşük güç ayarlarında, apikal taşmayı azaltarak daha güvenli ve etkili bir dezenfeksiyon sağladığı sonucuna varılmıştır.

#### Anahtar Sözcükler:

Apikalden sıvı taşması, Er,Cr:YSGG lazer, Kök kanal dezenfeksiyonu.

## ABSTRACT

### Objectives:

This study aimed to compare the effects of conventional needle irrigation (CNI) and Er,Cr:YSGG laser-activated irrigation (LAI) methods used for disinfection of the root canal system on the amount of apical extrusion.

### Material and Methods:

In the experiment conducted using 75 single-rooted human mandibular premolar teeth, the teeth were treated with LAI and CNI at different power settings (0.25W, 0.50W, 0.75W and 1W) after root canal shaping procedures.

### Results:

The findings showed that the amount of fluid exuding from the root apex was highest in the CNI group and lowest in the 0.25W laser group. The difference between the laser groups was not found to be statistically significant.

### Conclusion:

It was concluded that LAI provides safer and more effective disinfection by reducing apical overflow, especially at low power settings.

### Key Words:

Apical fluid extrusion, Er,Cr:YSGG laser, Root canal disinfection.

## GİRİŞ

Kök kanal sisteminin tamamen dezenfeksiyonu, kök kanal tedavisinin başarısı için hayati öneme sahiptir. Kök kanal sistemlerinin karmaşık morfolojisi, mikroorganizmaların ve nekrotik dokuların tamamen uzaklaştırılmasını zorlaştırmaktadır (1,2). Mikroorganizmaların ve nekrotik dokuların etkili bir şekilde uzaklaştırılabilmesi için sodyum hipoklorit (NaOCl), etilendiamintetraasetik asit (EDTA), klorheksidin gibi birçok dezenfeksiyon ajanı kullanılmaktadır.

Geleneksel iğne irrigasyonu (Gİİ), kök kanal sisteminin tam dezenfeksiyonunu sağlamakta yetersiz kalabilir, bu nedenle çeşitli destekleyici teknikler ve irrigasyon solüsyonu aktivasyon sistemleri geliştirilmiştir (3,4). Son yıllarda, farklı dalga boylarındaki lazerlerin kullanımı, irrigasyon etkinliğini artırmak için önerilmiştir (5).

Er,Cr:YSGG lazer, basınç dalgaları oluşturarak irrigasyon solüsyonunun kök kanal sisteminin apikal bölgelerine ulaşımını kolaylaştırabilir. Yeni bir lazer aktivasyon tekniği olarak önerilen yöntemde, erbium lazer tarafından indüklenen kavitasyon, buhar kabarcıklarının genişleyip patlaması ve yoğun bir kabarcık akışı ile basınç dalgaları oluşturur. Bu sayede lazer aktivasyonu bir sıvı pompası gibi çalışarak pulpa odasını irrigasyon solüsyonu için bir rezervuar haline getirebilir (6-8).

Ancak, lazerlerin kullanımı, irrigantların periradiküler bölgelere taşmasına ve buna bağlı olarak klinik belirtilere

neden olabilecek tahrişlere yol açabilir (9). Bu nedenle, özellikle sodyum hipoklorit ve hidrojen peroksit gibi güçlü irrigasyon solüsyonlarıyla birlikte lazer kullanımında dikkatli olunması gerekmektedir (10).

Bu çalışmanın amacı, farklı güç ayarları ile Er,Cr:YSGG lazerle aktive irrigasyonun (LAI) ve Gİİ, apikalden taşan sıvı miktarı üzerindeki etkisini karşılaştırmaktır. Çalışmanın sıfır hipotezi '*LAI ve Gİİ arasında apikalden taşan sıvı miktarı açısından bir fark yoktur*' şeklinde belirlenmiştir.

## GEREÇ ve YÖNTEMLER

### Diş seçimi ve hazırlığı

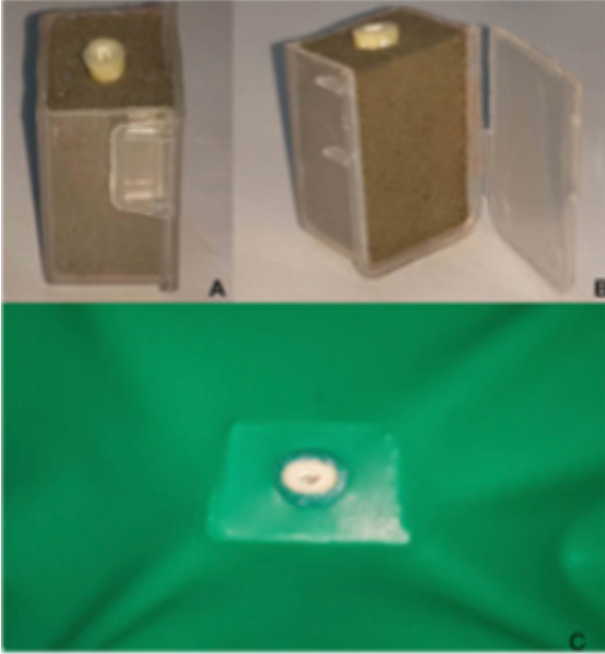
Bu çalışmada, kök gelişimi tamamlanmış 75 adet tek köklü insan alt çene premolar diş seçildi. Tüm dişler, kök kanal anatomisini doğrulamak için radyografik olarak analiz edildi. Dahil edilme kriterleri; tek köklü alt çene premolar, bir kök kanalı ve bir apikal foramen, 0-10° arası kök eğriliği bulunan dişler iken; dahil edilmeme kriterleri çatlak, iç veya dış rezorpsiyon, kök çürüğü, kalsifikasyon, açık apeks ve minör daralma büyüklüğünün #15 K-tipi eğeden büyük olan dişler olarak belirlendi. Diş kök yüzeyindeki yumuşak ve sert doku kalıntıları mekanik olarak temizlendi. Daha sonra bu örnekler deney çalışma sürecine kadar 4 °C'de distile su içinde saklandı.

Deney çalışması aşamasında örnekler, su soğutmalı elmas disk kullanılarak standart bir kök uzunluğu sağlamak için 17 mm boyutunda dekorone edildi. Çalışma uzunluğu, #15 K-eğe (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) ucu apikalden görüldüğünde elde edilen uzunluktan 1 mm çıkarılarak belirlendi. Kök kanal şekillendirme işlemleri ProTaper Sistemi (Dentsply Maillefer) kullanılarak çalışma uzunluğunda crown down tekniği kullanılarak yapıldı. Son şekillendirme #30/0.04 numaralı eğe ile tamamlandı. Eğeler arasında 1 mL 2.5% NaOCl ile irrigasyon yapıldı. Tüm diş kök örnekleri 2 kat tırnak cilası ile kaplandı. Sonra bir #15 K-eğe, apikal foramenin hemen 1 mm ötesine görünür hale gelene kadar ilerletilerek tüm örneklerde standart apikal açıklık elde edildi.

### Test düzeneği

Bu aşamada kök kanalı dezenfeksiyonu esnasında taşan sıvı miktarını değerlendirmek için Altundaşar ve ark.'nın (17) test düzeneği modifiye edildi. Çiçek düzenleme süngerinden elde edilen denk prizmatik bloklar, kök kanal şekillendirmesi sırasında taşan irrigasyon solüsyonunu toplamak için kullanıldı. Her bir prizmatik sünger blok, doğru sonuçların elde edilmesi için hassas bir terazi (Precisa; Precisa Inst. Dietikon, İsviçre) kullanılarak diş olmadan tartıldı. Her blok için üç ardışık ölçüm yapıldı ve ortalaması hesaplandı. Deformasyonu kolay bir malzeme olan köpüğün irrigasyon süresince stabil kalması için plastik bir kutu tasarlandı (Şekil 1). Böylece hem köpüğün olası madde kaybı önlenildi, hem de taşan sıvının daha güvenli değerlendirilmesi sağlandı. Bloklar, bu kutu boyutuna uygun şekilde hazırlandı. Diş kökü örnekleri, köpük bloğa nazik

bir şekilde koronal iki mm'lik mine-sement sınırına kadar yerleştirildi. Örneklerin koronal izolasyonu lastik örtü ile sağlandı. Lastik örtü diş üzerine geçirildi ve köşeleri düzeneğin altında bulunan mantar zemine gergin şekilde sabitlendi. Diş ile lastik örtü arası bölgeye, olabilecek sıvı akışını önlemek için gingival bariyer uygulandı (Şekil 1).



Şekil 1. İrrigasyon protokolleri için hazırlanan deney düzeneği

### Lazerle aktive irrigasyon (LAI) prosedürleri

Er,Cr:YSGG lazer sistemi (Biolase Waterlase MD; Biolase Technology, Irvine, CA, USA); 2780 nm dalga boyu, 25 mJ/pulse ve 20 Hz frekansta grup dalğıımına göre 0.25 W, 0.50 W, 0.75W ve 1W ayarlarında hava veya su olmadan kullanıldı. Atımlar, çapı 580 µm ve uzunluğu 14 mm olan bir fiber uç (RFPT5-14) kullanılarak gerçekleştirildi. Kök kanal irrigasyonu 5 mL %2,5 NaOCl ile 27-gauge açık uçlu iğne (Terumo, Leuven, Belçika) kullanılarak yapıldı ve optik fiber kök kanal girişine yerleştirilip aktive edildi. Lazer ışınlama döngüleri sırasında, kök kanallarının ıslanabilirliğini ve akış seviyesini korumak için koronal açıklık bölgesinde lazer ucunun üzerinde konumlandırılmış iğne ile sürekli irrigasyon yapıldı.

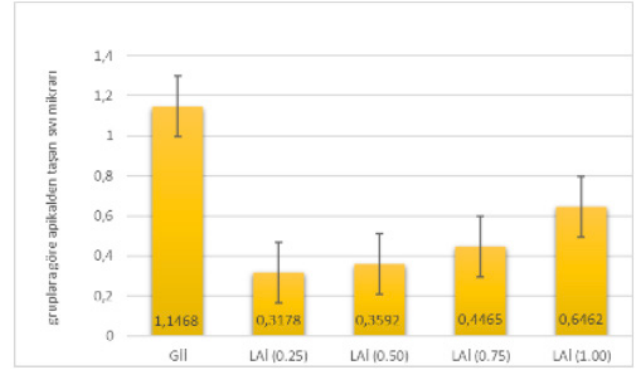
### Geleneksel iğne irrigasyonu (Gİİ) prosedürleri

Gİİ, 5 mL %2.5 NaOCl ile 60 saniye boyunca 27-gauge açık uçlu iğne ile gerçekleştirildi. İğne, çalışma uzunluğundan 2 mm kısa olacak şekilde yerleştirildi ve kök kanalının apikal yarısında 4 mm'lik bir mesafe boyunca yavaşça yukarı ve aşağı hareket ettirildi. Akış hızı yaklaşık 0.3 mL/sn idi. Tüm deneysel irrigasyon protokolleri tamamlandıktan sonra; diş kök kanalları kurutuldu ve sünger bloklar düzenekten çıkarıldı. Her sünger bloğun ağırlığı hassas bir terazide yeniden üç kez ölçüldü ve kaydedildi. Apikal olarak taşmış olan sıvı miktarı, sünger blokların son ağırlığından başlangıç ağırlıklarının çıkarılmasıyla hesaplandı.

Farkların anlamlılığı SPSS istatistik yazılımı (versiyon 11.5, SPSS, Inc., Chicago, IL) ile Kruskal Wallis ve Man Whitney U testi kullanılarak analiz edildi. Bonferroni düzeltmesi  $P < 0.05$  seviyesinde yapıldı.

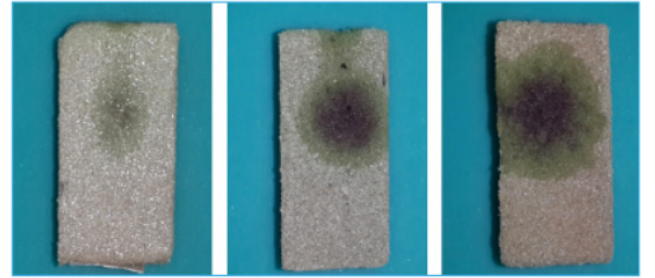
## BULGULAR

Elde edilen sonuçlarda kök ucundan taşan sıvı miktarında en yüksek değeri Gİİ grubu gösterirken, 0.25W lazer grubu en az miktarda sıvı taşmasına neden olmuştur (Şekil 2).



Şekil 2. Farklı gruplar arasında apikalden taşan sıvının ortalama miktarının dağılımı. Gİİ kontrol grubunu ifade ederken, LAİ (0.25), LAİ (0.50), LAİ (0.75) ve LAİ (1.00) sırasıyla farklı güç (W) ayarlarında Lazerle Aktive İrrigasyon (LAI) gruplarını temsil etmektedir.

Ancak, lazer grupları arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı değildi ( $P > 0.05$ ). 1.00W lazer grubu hariç, diğer lazer ve konvansiyonel irrigasyon grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık gözlenmiştir ( $P < 0.05$ ) (Şekil 3).



Şekil 3. Deney sonrası farklı gruplara ait sünger blok örnekleri

## TARTIŞMA

Bu çalışmada, farklı güç ayarlarında LAİ yapıldığında apikalden taşan sıvı miktarı ile Gİİ karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Gİİ, 1.00W LAİ grubu hariç diğer LAİ gruplarına kıyasla istatistiksel olarak anlamlı derecede daha fazla sıvı taşmasına sebep olmuştur. Bu nedenle, 'Gİİ ve LAİ arasında apikalden taşan sıvı miktarı açısından fark yoktur' şeklindeki sıfır hipotezi reddedilmiştir.

Endodontik tedavilerde irrigasyon solüsyonunun, özellikle NaOCl'nin apikalden taşması periapikal dokuların zarar görmesi, ağrı ve yanma hissi gibi komplikasyonlara neden olabilir (14). Bu nedenle, irrigantların etkinliğini artırmak için kullanılan mevcut irrigasyon aktivasyon tekniklerinde apikalden minimal taşmaya neden olan tekniği belirlemek büyük önem arz etmektedir. Kök kanal şekillendirmesinde

klirik uygulamada en yaygın irrigasyon tekniği geleneksel iğne irrigasyonudur. Bu nedenle bu çalışmada kontrol grubu olarak kullanılmıştır. Standardizasyonu sağlamak stoper ile apikenden 2 mm kısa mesafede olacak şekilde iğne çalışma boyu belirlenmiş ve irrigasyon çalışma suresince belirli bir akışta yapılmıştır. Geleneksel iğne irrigasyonunda, iğnenin kök kanalının apikal 1/3'lk kısmına kadar ilerletilmesi etkinliği artırmak için gereklilikken, apikalden taşan sıvı miktarında da artış gözlenebilmektedir (12).

nceki çalışmalarda apikalden taşan sıvı miktarını ölçmek için hava (15), su (16), boya (13) gibi birçok in vitro model ortamı kullanılmıştır. Bu çalışmalarda teknik farklılıkların nedeni mümkün olduğunca periapikal dokuyu taklit etme çabasıdır. Bu çalışmaların bazılarında apikal lezyon varlığı (16,17), bazılarında da vital periapikal doku koşulları oluşturulmaya çalışılmıştır (13,18). Bu alışmada Altundaşar ve ark'nın (18) vital periapikal yumuşak dokuyu taklit etmek için tercih ettiği iek düzenleme süngeri modifiye edilerek kullanılmıştır. İlk olarak Hachmeister ve ark. (19) tarafından periapikal dokuların direncini taklit etmek önerilen iek düzenleme süngeri daha sonra diğer araştırmacılar tarafından da kabul görmüştür (17,18,20,21). Apikalden sıvı taşması, apikal foramende sıvı basıncının periapikal bölgeden gelen geri basıncıtan fazla olduğunda meydana gelir. iek düzenleme köpüğü tarafından sağlanan direnç, genellikle periapikal direnci olmayan bir şişe düzeneği ile yapılan çalışmalarda kullanılan 'sıfir geri basıncı' varsayımından daha gerçekçi olabilir. Apikal olarak taşan sıvı miktarı açısından gruplar arasında anlamlı farklılık bulunması, iek düzenleme süngerinin sıvı taşması için duyarlı bir periapikal model olarak kullanılabilmesini düşündürmektedir.

Arslan ve ark'nın (22) yaptığı bir çalışmada farklı gc ayarlarında PIPS tekniği (0.3W, 15 Hz ve 0.9W, 30 Hz) modifiye edilmiş bir test düzeneğinde kullanılmış; GII, ultrasonik ve lazer grupları arasında istatistiksel farklılık gözlenmemiştir. Bu çalışmada da bizim çalışmamız ile benzer olarak en fazla sıvı taşması 0.9W gcde lazer uygulamasında görülmüştür.

Başka bir çalışmada lazer aktivasyonda 2 farklı özellikte orta kızıl-ötesi lazer ve u; geleneksel irrigasyonda, iki farklı özellikte irrigasyon iğnesi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Çalışmada iğne irrigasyonu ile Er,Cr:YSGG lazer uygulaması arasında benzer miktarda sıvı taşması değerleri bulunmuştur (13).

Çalışmamızda LAI, Er,Cr:YSGG (Middle-infrared lazer) tipi lazer, dört farklı gc ayarında (0.25, 0.50, 0.75, 1W) ve RFPT5-14 radyal u ile yapılmıştır. LAI grupları arasında sıvı taşma miktarı açısından anlamlı farklılık gözlenmemiştir. 1W lazer aktivasyon grubu haricinde diğer LAI gruplarında GII grubuna kıyasla istatistiksel olarak daha az sıvı taşması gözlenmiştir.

Aktivasyon tekniklerinin apikalden taşan sıvı miktarı üzerine etkinliğini değerlendiren son bir sistematik derleme; sonik, ultrasonik ve negatif basıncı gibi aktivasyon tekniklerinin büyük kısmının geleneksel iğne irrigasyonuna göre daha az sıvı taşması gösterdiğini ortaya koymuştur (23). Çalışmamızda Er,Cr:YSGG ile LAI da benzer sonuçlar ortaya koymuştur. Bu durum, GII'da iğnenin apikal l bölgesine kadar konumlandırılmasından kaynaklanabilir. Aynı zamanda ileri geri manuel hareket, kanal içi sıvının geri akışında yetersiz kalabilmektedir.

Sonuç olarak bu çalışmada kullanılan tüm teknikler, solüsyonun apikalden taşmasına neden olmuştur. Bu nedenle, klinisyenin klinik ve radyografik olarak immatür diş kökleri, kök rezorpsiyonu ve apikal perforasyon varlığını kontrol etmesi son derece önemlidir; çünkü bu durumlar kök kanal sisteminden periradiküler bölgelere aşırı miktarda solüsyon taşmasına yol açabilir. LAI'nun özellikle düşük gc ayarlarında, apikal taşmayı azaltarak daha güvenli ve etkili bir dezenfeksiyon sağladığı sonucuna varılmıştır. Lazerin oluşturduğu basıncı dalgaları ve kabcık hareketleri, irrigantların kök kanal sisteminin uzak bölgelerine ulaşmasını ve etkin bir dezenfeksiyon sağlamasını kolaylaştırmaktadır.

## SONUÇ

Bu bulgular, kök kanal dezenfeksiyonunda LAI'nun, GII'na göre daha güvenli bir alternatif olabileceğini göstermektedir. Ancak, yüksek gc ayarlarının klinik komplikasyonlara yol açabileceği ve optimal lazer ayarlarının belirlenmesi gerektiği vurgulanmıştır. Gelecekteki alışmalar, farklı irrigantlar ve lazer ayarları kullanarak daha kapsamlı sonuçlar elde edebilir ve klinik uygulamalara daha fazla ışık tutabilir. Ayrıca, bu çalışmada periapeksi taklit etmek için kullanılan modifiye sünger blok modeli apikalden sıvı taşma miktarının değerlendirildiği sonraki çalışmalar için kullanışlı olabilir.

### Yazarların Katkısı:

Fikir/Kavram: .G., A.K.; Tasarım: .G., A.K.; Dene-tleme/Danışmanlık: .G., A.K.; Veri Toplama ve İşleme: .G., A.K.; Kaynak Taraması: .G., A.K.; Makale Yazımı: .G., A.K.; Eleştirel İnceleme: .G., A.K.

### Finansal veya Mali Destek:

Herhangi bir finansal/mali destek alınmamıştır.

### ıkar atışması:

Herhangi bir çıkar atışması bildirilmemektedir.

### Etik Kurul Onay Bilgisi:

Bu alışma Helsinki Bildirgesi etik kurallarına uygun olarak yürütüldüğü bildirilmiştir.

1. Vertucci FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1984;58:589-99.
2. Sundqvist G. Ecology of the root canal flora. *J Endod.* 1992;18:427-30.
3. Blanken J, De Moor RJ, Meire M, Verdaasdonk R. Laser induced explosive vapor and cavitation resulting in effective irrigation of the root canal. Part 1: a visualization study. *Lasers Surg Med.* 2009;41:514-9.
4. Mancini M, Armellin E, Casaglia A, Cerroni L, Cianconi L. A comparative study of smear layer removal and erosion in apical intraradicular dentine with three irrigating solutions: a scanning electron microscopy evaluation. *J Endod.* 2009;35:900-3.
5. Gu LS, Kim JR, Ling J, Choi KK, Pashley DH, Tay FR. Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *J Endod.* 2009;35:791-804.
6. de Groot SD, Verhaagen B, Versluis M, Wu MK, Wesselink PR, van der Sluis LW. Laser-activated irrigation within root canals: cleaning efficacy and flow visualization. *Int Endod J.* 2009;42:1077-83.
7. Sahar-Helft S, Stabholtz A, Moshonov J, Gutkin V, Redenski I, Steinberg D. Effect of Er:YAG laser-activated irrigation solution on *Enterococcus faecalis* biofilm in an ex-vivo root canal model. *Photomed Laser Surg.* 2013;31:334-41.
8. Bago Juric I, Plecko V, Anic I. Antimicrobial efficacy of Er,Cr:YSGG laser-activated irrigation compared with passive ultrasonic irrigation and RinsEndo against intracanal *Enterococcus faecalis*. *Photomed Laser Surg.* 2014;32:600-5.
9. Peeters HH, Suardita K. Efficacy of smear layer removal at the root tip by using ethylenediaminetetraacetic acid and erbium, chromium: yttrium, scandium, gallium garnet laser. *J Endod.* 2011;37:1585-9.
10. De Moor RJ, Meire M, Goharkhay K, Moritz A, Vanobbergen J. Efficacy of ultrasonic versus laser-activated irrigation to remove artificially placed dentin debris plugs. *J Endod.* 2010;36:1580-3.
11. Peeters HH, Mooduto L. Radiographic examination of apical extrusion of root canal irrigants during cavitation induced by Er,Cr:YSGG laser irradiation: an in vivo study. *Clin Oral Investig.* 2013;17:2105-12.
12. Hulsmann M, Hahn W. Complications during root canal irrigation-literature review and case reports. *Int Endod J.* 2000;33:186-93.
13. George R, Walsh LJ. Apical extrusion of root canal irrigants when using Er:YAG and Er,Cr:YSGG lasers with optical fibers: an in vitro dye study. *J Endod.* 2008;34:706-8.
14. Zairi A, Lambrianidis T. Accidental extrusion of sodium hypochlorite into the maxillary sinus. *Quintessence Int.* 2008;39:745-8.
15. Huang X, Ling J, Wei X, Gu L. Quantitative evaluation of debris extruded apically by using ProTaper Universal Tulsa rotary system in endodontic retreatment. *J Endod.* 2007;33:1102-5.
16. Boutsoukis C, Psimma Z, Kastrinakis E. The effect of flow rate and agitation technique on irrigant extrusion ex vivo. *Int Endod J.* 2014;47:487-96.
17. Psimma Z, Boutsoukis C, Vasiliadis L, Kastrinakis E. A new method for real-time quantification of irrigant extrusion during root canal irrigation ex vivo. *Int Endod J.* 2013;46:619-31.
18. Altundasar E, Nagas E, Uyanik O, Serper A. Debris and irrigant extrusion potential of 2 rotary systems and irrigation needles. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2011;112:e31-5.
19. Hachmeister DR, Schindler WG, Walker WA 3rd, Thomas DD. The sealing ability and retention characteristics of mineral trioxide aggregate in a model of apexification. *J Endod.* 2002;28:386-90.
20. Topçuoğlu HS, Aktı A, Tuncay Ö, Dinçer AN, Düzgün S, Topçuoğlu G. Evaluation of debris extruded apically during the removal of root canal filling material using ProTaper, D-RaCe, and R-Endo rotary nickel-titanium retreatment instruments and hand files. *J Endod.* 2014;40:2066-9.
21. Stefopoulos S, Tsatsas DV, Kerezoudis NP, Eliades G. Comparative in vitro study of the sealing efficiency of white vs grey Proroot mineral trioxide aggregate formulas as apical barriers. *Dent Traumatol.* 2008;24:207-13.
22. Arslan H, Akcay M, Ertas H, Capar ID, Saygili G, Meşe M. Effect of PIPS technique at different power settings on irrigating solution extrusion. *Lasers Med Sci.* 2015;30:1641-5.
23. Mazreah SA, Shirvani A, Mazreah HA, Dianat O. Evaluation of irrigant extrusion following the use of different root canal irrigation techniques: a systematic review and meta-analysis. *Aust Endod J.* 2023;49:396-417.