

# Dental Lazerlerin Kök Kanal Duvarlarındaki Smear Tabakasını Uzaklaştırma Etkinlikleri

## *Efficacy of Dental Lasers on Smear Layer Removal from the Root Canal Walls*

**Mohamad ABDULJALIL<sup>1</sup>, Burcu GÜNAL-ABDULJALIL<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Yakın Doğu Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı, Lefkoşa, KKTC

<sup>2</sup>Yakın Doğu Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Lefkoşa, KKTC

**Atıf/Citation:** Abduljalil, M., Gühay-Abduljalil, G., (2021). Dental Lazerlerin Kök Kanal Duvarlarındaki Smear Tabakasını Uzaklaştırma Etkinlikleri. Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi, 42(2), 147-157.

### ÖZ

Son yıllarda farklı özelliklere sahip lazer cihazlarının geliştirilmesiyle birlikte, diş hekimliğinde lazerlerin uygulama alanları giderek büyümektedir. Lazer teknolojisinin hızla ilerlemesi, lazer uygulamaları için esnek fiber uçların geliştirilmesi ve lazerin biyolojik dokular üzerindeki etkisinin daha iyi anlaşılması sonucu, farklı lazer tiplerinin endodontik tedavilerde uygulanması mümkün hale gelmiştir. Kök kanallarının şekillendirilmesi esnasında kanal duvarları üzerinde oluşan smear tabakasının; dezenfeksiyon materyallerinin dentin tübüllerindeki etkinliğini sınırlaması, bakteri içermesi ve kanal dolgu patlarının dentin tübüllerine penetrasyonunu ve adezyonunu etkilemesi gibi nedenlerden dolayı uzaklaştırılması gerektiği belirtilmektedir. Smear tabakası ve debrisin uzaklaştırılması amacıyla; konvansiyonel yöntemlerle birlikte lazer teknolojisinin beraber kullanımı, birçok araştırmacının ilgi konusu olmuştur. Bu derlemenin amacı, dental lazerlerin kök kanal duvarlarında bulunan smear tabakası üzerindeki etkilerini araştıran bilimsel çalışmaların değerlendirilmesidir.

**Anahtar Kelimeler:** Dental lazer, Endodonti, Kök kanalı, Smear tabakası

### ABSTRACT

In recent years, the development of laser application fields in dentistry was in line with the development of laser devices with different properties. The rapid progress of laser technology, improving flexible fiber tips for laser applications, and a better understanding of the effect of lasers on biological tissues had enabled the application of different types of laser in endodontic treatments. It was stated that smear layer, which is formed during the canal preparation on the canal walls, should be removed due to many reasons including that smear layer may limit the effects of disinfection materials on dentin tubules, it affects on the canal sealers penetration and adhesion to the dentin tubules, and the bacterial contents of smear layer. In order to remove the smear layer and debris, the use of lasers with conventional methods have been investigated in many studies. Thus, the aim of this review was to identify the studies which investigated the application of lasers in removing smear layer from the root canal walls.

**Keywords:** Dental laser, Endodontics, Root canal, Smear layer

Sorumlu yazar/Corresponding author\*: mohamad\_abduljalil@hotmail.com

Başvuru Tarihi/Received Date: 03.01.2020

Kabul Tarihi/Accepted Date: 13.05.2021

## GİRİŞ

Kök kanallarının şekillendirilmesi esnasında kök kanal duvarları üzerinde oluşan ve organik-inorganik komponentler (pulpa dokusu artıkları, dentin dokusu, odontoblastik uzantılar ve bakteri) içeren yapı "smear tabakası" olarak adlandırılmaktadır.<sup>1</sup> Genellikle smear tabakasının taramalı elektron mikroskopisi altında; şekilsiz, düzensiz ve tanecikli bir yapı şeklinde, granüler bir görünüme sahip olduğu belirtilmektedir.<sup>2</sup>

Smear tabakasının kaldırılıp kaldırılmaması gerekliliği, birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir.<sup>3-6</sup> Bazı araştırmacılar, smear tabakasının dentin tübüllerini tıkayarak ve dentin geçirgenliğini azaltarak, bakteri ve toksinlerin invazyonu için bir bariyer oluşturacağını öne sürmüştür.<sup>3-4</sup> Ancak smear tabakasının dentin geçirgenliğinde azalma meydana getirerek; kök kanal irrigasyon solüsyonlarının ve patlarının etkin bir şekilde uygulanmasını önlemesi, bakterilerin üreyebilmesi için ortam sağlaması ve apikal-koronal sızıntıya neden olabilecek bir boşluk oluşturabileceği gibi nedenlerden dolayı, bu tabakanın uzaklaştırılması gerektiğini savunan birçok araştırmacı bulunmaktadır.<sup>5-6</sup> Son 30 yılda gerçekleştirilen çalışmaların büyük çoğunluğu, smear tabakasının uzaklaştırılmasını destekleyerek kök kanal duvarlarından uzaklaştırılmasının önemini ortaya koymaktadır.

Smear tabakasının kök kanal sisteminden uzaklaştırılması amacıyla, sodyum hipoklorit (NaOCl), şelasyon ajanları, organik asitler ve tetrasiklinler gibi kimyasal ajanlar; manuel-dinamik irrigasyon, endodontik fırçalar, sonik sistemler ile aktivasyon, ultrasonik sistemler ile aktivasyon, EndoVac gibi mekanik yöntemler ve lazer sistemleri kullanılmaktadır.<sup>2,7,8</sup>

Diğer konvansiyonel yöntemlere göre lazer uygulaması, lazer ışınının kolaylıkla yönlendirilebilmesi ve yüksek ölçüdeki enerjinin küçük noktalara yoğunlaşabilmesi nedeniyle, oldukça ilgi çeken ve popüleritesi giderek artan alternatif bir tedavi yöntemidir. Kök kanal sistemlerindeki smear tabakası ve debrisin uzaklaştırılması amacıyla; konvansiyonel yöntemlerle birlikte lazer teknolojisinin beraber kullanımı, birçok araştırmacının ilgi konusu olmuştur. Smear tabakasının uzaklaştırılmasında; CO<sub>2</sub> lazer, diyot lazer, argon lazer, Nd:YAG lazer, KTP lazer, Er:YAG lazer ve Er,Cr:YSGG lazer tiplerinin kullanılabilmesi çeşitli çalışmalarda belirtilmiştir.<sup>9-11</sup>

Lazer uygulanan doku üzerindeki morfolojik ve kimyasal değişimlerin; lazerin türüne, lazer ışınının gücüne, enerji seviyesine, uygulanma süresine ve diş dokularının su, mineral gibi komponentlerinin miktarı ile ilişkili olabileceği belirtilmektedir.<sup>12,13</sup>

Bu derlemenin amacı, dental lazerlerin kök kanal duvarlarında bulunan smear tabakası üzerindeki etkilerini araştıran bilimsel çalışmaların değerlendirilmesidir.

## CO<sub>2</sub> Lazerin Smear Tabakası Üzerindeki Etkisi

1964 yılında geliştirilen CO<sub>2</sub> lazerin aktif ortamı içerisinde; CO<sub>2</sub>, helyum ve nitrojen gazları bulunmaktadır. 10600 nm dalga boyu ile CO<sub>2</sub> lazer, en yüksek dalga boyuna sahip lazer cihazıdır. Yüksek dalga boyu nedeniyle temassız kullanılmakta olan bu lazerler, dokunun en hızlı şekilde uzaklaştırılmasını sağlamaktadır. Su ve hidroksiapatit tarafından iyi absorbe olan CO<sub>2</sub> lazerler, Food and Drug Administration (FDA) tarafından yumuşak doku cerrahisinde kullanılmak üzere onaylanan ilk lazerdir. CO<sub>2</sub> lazer, yumuşak doku içerisindeki penetrasyon derinliğinin 0.2 – 0.3 mm olması nedeniyle oral mukozadan yansımamakta, dağılmamakta ve derin dokulara kadar ilerlememektedir. Mine dokusu yüzeyinde çatlak ve kırılmalar ile dentin dokusu yüzeyindeki karbonizasyon alanları nedenleriyle, sert dokuda kullanımları sınırlıdır.<sup>14,15</sup>

Israel ve ark.,<sup>16</sup> yaptıkları çalışmanın parametreleri göz önüne alındığında, Nd:YAG ve CO<sub>2</sub> lazerlerin kök yüzeyini istenmeyen bir şekilde (kavitasyon, erime, çatlak ve karbonizasyon alanları gibi) değiştirirken, düşük enerji yoğunluğunda kullanılan Er:YAG lazerin ise erime ve karbonizasyon alanları göstermediğini belirtmiştir.

CO<sub>2</sub> ve Er:YAG lazer olmak üzere iki farklı tip lazerin ve % 17 etilen diamin tetra asetik asit (EDTA), % 6 fosforik asit ve % 6 sitrik asit olmak üzere üç farklı irrigantın smear tabakası üzerindeki etkinliklerinin değerlendirildiği bir *in vitro* çalışmada;<sup>17</sup> final irrigant olarak kullanılan EDTA'nın smear tabakasının uzaklaştırılmasında etkili olmadığı, asitlerin kullanımı ile EDTA'ya oranla daha temiz kök kanallarının elde edildiği ancak özellikle apikal bölgede smear tabakasının tamamen uzaklaştırılmadığı ve asidik solüsyonların dentini belirgin olarak demineralize ettiği rapor edilmiştir. CO<sub>2</sub> ve Er:YAG lazerlerin ise irrigantlara göre smear tabakasını uzaklaştırmada istatistiksel olarak anlamlı derecede daha etkili olduğu, en etkili sonuçun Er:YAG lazer ile elde edildiği fakat CO<sub>2</sub> lazerle arasındaki farkın önem taşımadığı belirtilmiştir. Araştırmacılar, Er:YAG lazer irradyasyonunun, kök kanallarında erimeye neden olmadan smear tabakasını uzaklaştırarak, açık dentin tübüllerinin bulunduğu temiz yüzeyler oluşturduğunu gözlemiştir. Ancak CO<sub>2</sub> lazer ile irradyasyonun, kök kanal duvarlarının yüzeylerinde karbonize alanlara sahip, erimiş, rekristalize olmuş ya da camsı görünümde temiz bir duvar oluşturduğu belirtilmiştir.<sup>17</sup>

## Argon Lazerin Smear Tabakası Üzerindeki Etkisi

Aktif ortamı içerisinde argon gazı bulunan argon lazer, görünür ışık enerjisi spektrumundaki dalga boylarına sahip ışın yayan cerrahi lazer tipidir.<sup>18</sup> Argon lazerler, 488 nm ve 514 nm olmak üzere iki dalga boyuna sahiptir. Kısa dalga boyuna sahip argon ışınları, ince fiber optik kablolardan geçerek çok küçük noktalara odaklanabilmesi özelliğine sahiptir. 488 nm dalga

boyuna sahip argon lazer, mavi renkte ışık vermektedir ve restoratif materyallerin polimerizasyonunda tercih edilmektedir. 514 nm dalga boyuna sahip mavi-yeşil renkte ışık veren argon lazerler ise; hemosiderin, hemoglobun ve melanin gibi koyu renkli pigmente dokular tarafından büyük oranda absorbe edilmesi nedeniyle, iyi bir hemostatik özelliğe sahiptir.<sup>15,19,20</sup> Argon lazerin şekillendirmiş kök kanal duvarlarında, etkili bir temizlik yapabileceği rapor edilmiştir.<sup>21-22</sup> Takeda ve ark.,<sup>22</sup> kök kanal duvarlarında bulunan smear tabakasının uzaklaştırılmasında; Er:YAG lazer (100 mJ), Nd:YAG lazer (200 mJ) ve argon lazerin (50 mJ) etkinliğinin değerlendirilmiş ve en etkili temizliğin Er:YAG lazer uygulanan grupta gözlemlendiğini, bununla birlikte gruplar arasındaki farkların istatistiksel olarak önem göstermediğini ve her üç lazerin de smear tabakasının uzaklaştırılmasında yararlı olduğunu belirtmiştir.

Smear tabakasının kök kanal duvarları ve dolgu materyalleri arasındaki sızıntıdan sorumlu olduğu ve kanal doldurulmadan önce uzaklaştırılması gerektiği bildirilmiştir.<sup>23,24</sup> Argon lazerin debris ve smear tabakasını etkili bir şekilde uzaklaştırabilmesine rağmen; apikal sızıntıyı önemli derecede azaltmadığını belirten çalışmalar bulunmaktadır.<sup>25,26</sup> Yamazaki ve ark.,<sup>25</sup> bu durumun çalışmada kullanılan argon lazerin uygulandığı enerji yoğunlukları ile ilişkili olabileceğini belirtmiştir. Kimura ve ark.,<sup>26</sup> argon, Nd:YAG ve Er:YAG lazerlerin kök kanal sisteminden smear tabakasını uzaklaştırma etkinliklerini ve apikal sızıntı üzerindeki etkisini incelemiştir. Üç lazer tipinin de kontrol grubuna göre smear tabakasını önemli bir şekilde uzaklaştırdığı, smear tabakasını uzaklaştırmada en iyi etkinin Er:YAG lazer kullanımı ile sağlandığı, kontrol grubuna kıyasla tüm lazer uygulanan gruplarda apikal sızıntının azaldığı, ancak bu azalmanın sadece Nd:YAG lazer uygulanan grupta istatistiksel önem gösterdiği rapor edilmiştir. Araştırmacılar apikal sızıntının smear tabakası ile birlikte başka faktörlerden etkilenebileceğini belirtmiştir.

#### Diyot Lazerin Smear Tabakası Üzerindeki Etkisi

Diyot lazerler, aktif hallerinde katı halde bulunan, yarı iletken alüminyum, galyum, arsenid kombinasyonu bir lazerdir. Diyot lazer, elektromanyetik spektrumun görünür (çoğunlukla 660 nm) ve kızılötesi bölümü (810 – 980 nm) aralığında radyasyon yaymaktadır. Pigmente dokular tarafından yüksek derecede absorbe olan diyot lazerler, hemostazın sağlanmasında argon lazerler kadar etki gösterememektedir. Sudaki absorpsiyon katsayısının daha yüksek olması nedeniyle, diyot lazer Nd:YAG lazer ile karşılaştırıldığında dentin içerisinde penetrasyon derinliğinin daha düşük olduğu belirtilmiştir.<sup>27</sup>

Devamlı ya da aralıklı olarak kullanabilen diyot lazerler, devamlı olarak kullanılırsa hızlı sıcaklık artışına neden olacağı için eksternal hava ve su kullanımı gerekmektedir.<sup>28</sup> Kök kanalında 810 nm dalga boyundaki diyot lazer kullanımının; 1.25 W çıkış gücünde 1.2 – 3.3

°C sıcaklık artışına, 2.5 W çıkış gücünde ise 1.6 – 8.6 °C sıcaklık artışına neden olduğu, ancak bu artışın periodontal dokular için güvenlik sınırının üstüne çıkmadığı (10 °C) ve dokularda aşırı sıcaklık artışının önlenmesi için her uygulamadan sonra 20 sn beklenmesi gerektiği belirtilmiştir.<sup>29</sup>

Diyot lazerin kök kanal duvarlarından debris ve smear tabakası uzaklaştırılmasında etkili olduğu ve obtürasyondan sonra apikal sızıntıyı azaltması nedeniyle kök kanal tedavisinde kullanımının faydalı olabileceği belirtilmiştir.<sup>30</sup>

Arslan ve ark.,<sup>31</sup> % 15 EDTA solüsyonunun 808 nm dalga boyuna sahip diyot lazer ile farklı süreler boyunca (10, 20, 30 ve 40 sn) aktive edilmesinin smear tabakası üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Kök kanalının orta üçlü bölgesindeki açık dentin tübüllerinin sayısının apikal bölgeden istatistiksel olarak anlamlı derecede daha fazla olduğu, lazer uygulamasının kök kanalının hem orta hem de apikal üçlü bölgesindeki uzaklaştırılan smear tabakası miktarını önemli derecede etkilediği ve en fazla smear tabakası uzaklaştırılan grubun 20 sn boyunca diyot lazer uygulanan grupta olduğunu rapor edilmiştir. Araştırmacılar, kök kanalının apikal üçlü bölgesindeki boyutunun diğer üçlü bölgelere göre daha küçük olması nedeniyle, irrigasyon solüsyonlarının sirkülasyonunu ve etkisini azaltarak smear tabakasının uzaklaştırılmasını zorlaştırdığını belirtmiştir. Ayrıca, apikal üçlü bölgesinde tübüler sklerozun (otuzlu yaşlarda kökün apikal bölgesinde başlayan, yaşla birlikte koronal olarak ilerleyen ve kök dentininin permabilitesini etkileyen fizyolojik bir fenomen<sup>32</sup>) artmış olduğunu yani daha az dentin tübülü bulunduğunu belirtmiştir.

940 nm dalga boyuna sahip diyot lazerin etkinliğinin % 15 setirit içeren etilen diamin tetra asetik asit (EDTAC) ve % 3 hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) kullanarak değerlendirildiği çalışmada,<sup>33</sup> diyot lazer ile EDTAC aktivasyonunun smear tabakasının uzaklaştırılmasını önemli ölçüde geliştirirken H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile aktivasyonun minimal düzeyde smear tabakası uzaklaştırdığı bildirilmiştir. Araştırmacılar, maksimum düzeyde smear tabakasının uzaklaştırılabilmesi için farklı irrigasyon solüsyonları ve diğer dalga boylarına sahip kızılötesi diyot lazerlerin kullanılması ile lazerin fiber uç hareketinin etkisinin incelenmesi yönünde çalışmalara ihtiyaç olduğunu belirtmiştir.

Koçak ve ark.,<sup>34</sup> QMiX ve EDTA irrigasyon solüsyonlarına diyot lazer uygulayarak smear tabakası uzaklaştırma etkinliklerini değerlendirmiştir. Araştırmacılar, özellikle apikal üçlü bölgesinde hiçbir tekniğin smear tabakasını tamamen uzaklaştıramadığını, irrigantlarla birlikte uygulanan diyot lazer irrigrasyonunun smear tabakası miktarını azalttığını ancak irrigantların tek başına uygulanmasıyla uzaklaştırılan smear tabakası ile arasında anlamlı bir farklılık oluşmadığını belirtmiştir.

Kök kanal duvarlarındaki smear tabakasının uzaklaştırılmasında pasif ultrasonik ve diyet lazerin etkinliğinin EDTA kullanımı ile ilişkisinin incelendiği bir *in vitro* çalışmada,<sup>35</sup> en az smear tabakasının EDTA ve ultrasonik sistem kullanıldığında (1 dk boyunca) gözlemlendiğini ancak diyet lazerin tek başına kullanıldığında (20 sn) ultrasonik sistemden daha iyi performans sergilediği rapor edilmiştir. Araştırmacılar, diyet lazerin smear tabakasının uzaklaştırılmasında iyi bir katkı sağlayacağı ve bakterisit etkisi sayesinde endodontik tedavinin başarısını arttırabileceğini belirtmiştir.

Abraham ve ark.<sup>36</sup> ise, kök kanalının apikal üçlü bölgesindeki smear tabakasının uzaklaştırılmasında kitosan kullanarak diyet lazer, sonik ve pasif ultrasoniklerin etkisini değerlendirdikleri *in vitro* çalışmada; % 0.2 kitosan kullanarak 20 sn uygulanan diyet lazer ve 30 sn uygulanan sonik irrigasyonun (EndoActivator), 30 sn uygulanan pasif ultrasonik irrigasyona (Sybron Endo-North Ryde) kıyasla smear tabakasının uzaklaştırılmasında daha etkili olduğunu, smear tabakasının en çok diyet lazer grubunda uzaklaştırıldığını ancak sonik irrigasyon grubuyla arasındaki farkın istatistiksel önem göstermediğini rapor etmiştir. Ancak Akyuz Ekim ve Erdemir,<sup>37</sup> diyet lazer hariç kullandıkları diğer irrigasyon aktivasyon tekniklerinin (pasif ultrasonik irrigasyon, EndoVac apikal negatif basınç, Nd:YAG ve Er:YAG lazer) tekniklerinin smear tabakasının uzaklaştırılmasında pozitif etkiye sahip olduğunu belirtmiştir.

#### **Nd:YAG Lazerin Smear Tabakası Üzerindeki Etkisi**

1964 yılında geliştirilen Nd:YAG lazer, aktif ortamı içerisinde az oranda neodimyum iyonlarıyla bir araya gelmiş itriyum-alüminyum-garnet katı kristali içermektedir. 1064 nm dalga boyuna sahip Nd:YAG lazer ışınları; melanin, hemoglobin gibi pigmentler içeren koyu renkli dokularda yüksek oranda absorbe edilmektedir. Ağız içerisinde temassız, temaslı ya da fiber optik yardımıyla kolaylıkla kullanılabilen Nd:YAG lazerlerin, koyu dokular tarafından absorpsiyonu sayesinde, pigmente bakterilerin DNA yapılarını bozarak bakterisit etki gösterdiği belirtilmiştir. Dokularda meydana gelen sıcaklık artışının kontrolünün sağlanabilmesi için eksternal su ve hava çıkışı eklenebilmektedir.<sup>14,15,38</sup>

He ve ark.<sup>39</sup> tarafından gerçekleştirilen *in vitro* çalışmada, farklı enerji seviyelerine sahip Nd:YAG lazer (grup 1= 15 Hz, grup 2= 20 Hz ve grup 3= 15 Hz + siyah mürekkep) kullanımının kök kanal yüzeylerindeki morfolojik ve termal etkileri değerlendirilmiştir. Araştırmacılar, lazer enerji seviyesi ile kök kanalındaki sıcaklık artışı arasında pozitif bir ilişki olduğunu, tüm çıkış gücü ayarlarında (1.0 W – 4.0 W) sıcaklık artışının en fazla grup 3'te, en az grup 1'de olduğunu, 2.0 W çıkış gücünde uygulanan tüm gruplardaki sıcaklık

artışının biyolojik olarak tolere edilebilir sınır dahilinde olduğunu, fakat sadece grup 2 ve grup 3'te smear tabakasının etkili bir şekilde uzaklaştırılabildiğini belirtmiştir.

Farklı çıkış güçlerindeki Nd:YAG lazer ışınının dentin dokusuna uygulanması sonucunda; çıkış gücü, ışınlama süresi ve dentin rengine bağlı olarak poröz olmayan, camsı ve organik doku içermeyen bir yüzey oluşturduğu belirtilmiştir. Lazer gücünün artırılmasıyla, kanal içerisindeki dentin dokusunun eriyip rekristalize olarak, camsı görünümde bir doku yüzeyi haline geldiği rapor edilmiştir.<sup>40</sup>

Nd:YAG lazer uygulamasının; kök kanallarındaki smear tabakasını kaldırması ya da eritmesi sonucunda, birleştirip veya rekristalize ederek temiz duvarlar oluşturduğunu ve bu yüzden dentin permeabilitesini arttırmadığını belirten çalışmalar bulunmaktadır.<sup>10,12,41</sup> Goya ve ark.,<sup>12</sup> Nd:YAG lazerin smear tabakasını buharlaştırarak veya eriterek uzaklaştırmasıyla birlikte apikal sızıntının azaldığını rapor etmiştir. Nd:YAG lazer ile el aletlerinin birlikte kullanımının smear tabakası üzerindeki etkisini inceleyen çalışmalarda, temiz kök kanal duvarlarının elde edildiği gözlenmiştir.<sup>41,42</sup> Nd:YAG lazer uygulamasının geleneksel tekniklere göre; smear tabakası ve debris önemli derecede azaltarak temiz kanal duvarlarının elde edildiğini bildiren çalışmalar da bulunmaktadır.<sup>10,43</sup>

Nd:YAG lazer ve döner eğelerin kök kanal sistemini temizleme etkinliklerinin değerlendirildiği bir çalışmada ise; döner ege, Nd:YAG lazer ve ikisinin birlikte kullanımının el eğelerinden daha iyi olduğu ve en etkili yöntemin döner ege ile lazerin birlikte kullanılmasıyla gözlemlendiği belirtilmiştir.<sup>44</sup> Ancak, Saunders ve ark.<sup>45</sup> tarafından gerçekleştirilen *in vitro* çalışmada, Nd:YAG lazer ile smear tabakasının uzaklaştırılmasının geleneksel yöntemlere kıyasla etkili olmadığı bildirilmiştir.

Kök kanalı dentin yüzeyine uygulanan 159, 239 ve 318 mJ enerji yoğunluklarındaki Nd:YAG lazerin etkilerinin incelendiği bir çalışmada,<sup>46</sup> araştırmacılar; kök kanallarının farklı bölgeleri (koronal, orta ve apikal) ve lazerin farklı enerji yoğunlukları arasında, smear ve debrisin uzaklaşması yönünden istatistiksel olarak önemli farklılıklar oluşturmadığını belirtmiştir. Ayrıca, smear tabakasının Nd:YAG lazer ile uzaklaştırılmadığı ve apikal bölgede karbonizasyon alanlarının gözlemlendiği rapor edilmiştir. Camargo ve ark.,<sup>47</sup> Nd:YAG lazerin fiber optik uçlarının kök kanalına paralel uygulanması sonucu smear tabakasının uzaklaştırılmasının güçleştiğini belirtmiştir.

Literatürdeki bazı çalışmalarda, kök kanal yüzeylerinden smear tabakasının uzaklaştırılmasında Nd:YAG lazer kullanımının EDTA kadar etkili olmadığı rapor edilmiştir.<sup>13,48,49</sup> Gurbuz ve ark.<sup>50</sup> ise, 1.5 W çıkış gücüne sahip Nd:YAG lazer ile beş farklı irrigasyon solüsyonunu (serum fizyolojik, % 5.25 NaOCl, % 3

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, % 15 EDTA, % 2 klorheksidin glukonat karşılaştırarak; % 15 EDTA kullanılan grupta en fazla smear tabakası uzaklaştırıldığı ancak Nd:YAG lazer uygulanan grup ile arasındaki farkın önemsiz olduğunu ve hiçbir uygulamanın kök kanal duvarlarındaki smear ve debrisini tamamen uzaklaştıramadığını belirtmiştir.

Literatürde irrigasyon solüsyonlarının Nd:YAG ile aktive edilmesinin smear tabakası üzerindeki etkinliğini değerlendiren çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Shahriari ve ark.,<sup>51</sup> farklı konsantrasyonlardaki NaOCl irrigantının Nd:YAG lazer ile aktive edilmesinin, kök kanal yüzeyindeki smear tabakasının uzaklaştırılmasında pozitif etkiye sahip olduğunu belirtmiştir. da Costa Lima ve ark.,<sup>52</sup> %17 EDTA solüsyonun ultrasonik teknikle aktive edilmesi sonucu uzaklaştırılan smear tabakası miktarının Nd:YAG ile aktive edilen gruba göre daha fazla olduğunu bildirmiştir. Ghorbanzedah ve ark.<sup>53</sup> ise, pasif ultrasonik teknik ve Nd:YAG lazer kullanılarak NaOCl irrigantının aktive edilmesinin konvansiyonel irrigasyona kıyasla daha az smear tabakasını elimine ettiğini bildirmiştir.

Potasyum Titanyum Fosfat lazer (KTP); aslında bir Nd:YAG lazer olup, kristalin önüne gelen bir filtre ile dalga boyu değiştirilmiştir. Etki mekanizması Nd:YAG ile neredeyse aynı olan KTP lazer ışını, görünür ışık aralığında bulunmaktadır ve dalga boyu 532 nm'dir.<sup>18,54</sup> KTP lazerin 1.5 W ve 0.2 - 1 sn parametrelerinde kök kanalı içerisinde kullanımı ile bazı alanlarda herhangi bir etki oluşmazken, güç yükseltildiğinde hafif yüzey değişimleri, smear ve dentin tabakasında buharlaşma ya da erime gibi modifikasyonlar olduğu belirtilmiştir.<sup>54</sup> Arslan & Kuştaçarı<sup>55</sup> tarafından gerçekleştirilen bir *in vitro* çalışmada, kök kanal yüzeyinde farklı çıkış güçlerine (1 – 4 W) sahip KTP lazer irradiasyonunun smear tabakası uzaklaştırma ve sıcaklık değişimi üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Araştırmacılar, tüm çıkış güçlerinde lazer kullanımından 20 sn sonra oluşan sıcaklık artışının 10°C'nin altında olduğunu ve KTP lazer uygulamasının smear tabakasını uzaklaştırmada %17 EDTA grubuna kıyasla başarılı olmadığını belirtmiştir.

#### **Er:YAG Lazerin Smear Tabakası Üzerindeki Etkisi**

1975 yılında tanıtılan Er:YAG lazer, aktif ortamı içerisinde erbiyum ile kombine edilmiş itriyum-alüminyum-garnet kristali içermektedir. 2940 nm dalga boyuna sahip Er:YAG lazer, 1977'de FDA tarafından sert dokularda kullanımı onaylanan ilk lazer olmuştur. Su içerisinde en yüksek oranda absorbe olma özelliğine sahip Er:YAG lazer ışınlarının, hidroksiapatite karşı absorpsiyonu da oldukça yüksektir.<sup>15,56</sup> Er:YAG lazer ışını enerjisi, doku ve organik yapı içerisindeki su molekülleri tarafından absorbe edilmesi sonucunda, su buharlaşmaktadır. Buharlaşmanın etkisiyle oluşan termal stresler, kollajen ve apetit yapılarının bozulmasına neden olmaktadır ve dolayısıyla ortaya çıkan yüksek gaz basıncı sayesinde çevre dokularda mikro patlamalar

meydana gelerek, birbirini takip eden doku yıkımları (ablasyon) gerçekleşmektedir. Er:YAG lazerler, dokuların yıkımı ile kök kanallarının temizlenmesine yardımcı olmaktadır.<sup>57,58</sup>

Er:YAG lazerin smear tabakasını uzaklaştırmada etkili olduğu yapılan çeşitli çalışmalarda belirtmiştir.<sup>22,59</sup> Pecora ve ark.,<sup>60</sup> Er:YAG lazerin su ile yıkamayı takiben dentin geçirgenliğini arttırdığını ve kök kanal duvarlarında daha iyi bir temizlik sağladığını bildirmiştir. Paghdwala,<sup>61</sup> Er:YAG lazerin organik matriksi kaldırarak ve eriterek dentin kanallarını tıkadığı, sıvı geçişinde azalmayı ve kök kanalında sterilizasyonu sağladığı, rezorbsiyonlara karşı ise direnci artırdığını bildirmiştir.

Ashraf ve ark.,<sup>62</sup> kök kanalının apikal bölgesindeki smear tabakasını uzaklaştırmak için % 17 EDTA, % 18 etidronat ve Er:YAG lazer kullanmış ve smear tabakasının uzaklaştırılmasında en etkin yöntemin EDTA grubunda gözlemlendiğini belirtmiştir.

Sahar-Helft ve ark.,<sup>63</sup> kök kanal duvarlarındaki smear tabakasının uzaklaştırılmasında pozitif basınç, pasif ultrasonik ve Er:YAG lazer ile aktivasyon olmak üzere üç farklı irrigasyon tekniğinin etkisini % 17 EDTA kullanarak incelemiş ve smear tabakasının uzaklaştırılmasında en etkili tekniğin düşük enerji seviyeli Er:YAG lazer ile aktive edilen gruplarda oluştuğunu rapor etmiştir. Araştırmacılar, Er:YAG lazerin kök kanalının koronal uçlüsünde konumlandırılması ile kanal çalışma boyundan 1 mm kısa olucak şekilde konumlandırıldığında kanal boyunca uzaklaştırılan smear tabakasının benzer olduğunu, fakat bu benzerliğin pozitif basınç ve pasif ultrasonik tekniklerinde gözlenmediğini belirtmiştir.

% 2.5 NaOCl ve % 17 EDTA ile birlikte kullanılan Er:YAG lazer irradiasyonun, endodontik tedavi boyunca temizlenmesi en zor olan apikal bölgede bile smear tabakasının uzaklaştırılmasında etkili olduğu belirtilmiştir.<sup>64</sup>

Su moleküllerine göre protein, pigment yapılar ve koyu renkli yüzeyler tarafından daha iyi absorbe edilen Nd:YAG lazerin ise; smear tabakası uzaklaştırma ve dentin permeabilitesi üzerindeki etkisinin, Er:YAG lazerlere göre daha zayıf olduğunu belirten çeşitli çalışmalar bulunmaktadır.<sup>65-67</sup> Keles ve ark.,<sup>68</sup> R-Endo retreatment eğeleri kullanarak retreatment uygulanmış oval şekilli kök kanallarına; 1 W çıkış gücüne sahip Er:YAG lazer, 1 W çıkış gücüne sahip Nd:YAG lazer, SAF (*Self-adjusting file*) ve pasif ultrasonik irrigasyon uygulayarak smear tabakası uzaklaştırma etkinliklerini değerlendirmiştir. Araştırmacılar, uygulanan ek prosedürlerin smear tabakasının uzaklaştırılmasına katkı sağladığı ve en fazla smear tabakasının Er:YAG lazer uygulanan grupta uzaklaştırıldığı rapor etmiştir.

Takeda ve ark.,<sup>22</sup> ise, kök kanal duvarlarındaki smear tabakasının uzaklaştırılması için 100 mJ enerjide

kullanılan Er:YAG lazerin daha etkili olmasına rağmen, 200 mJ enerjide kullanılan Nd:YAG lazer ve 50 mJ enerjide kullanılan argon lazerle arasındaki farkların istatistiksel olarak önem göstermediğini belirtmiştir.

Aranha ve ark.,<sup>69</sup> 60 mJ, 2 Hz parametrelerine sahip Er:YAG lazer ile 1.5 W, 15 Hz parametrelerine sahip Nd:YAG lazer ışınımı sonrası kök kanallarının dentin permeabilitelerinde anlamlı bir farklılık olmadığını belirtmiştir. Kivanc ve ark.<sup>27</sup> ise, 120 mJ enerji ve 15 Hz frekans parametrelerinde kullanılan Er:YAG ve Nd:YAG lazerlerin smear tabakası ve debris uzaklaştırmada yetersiz kaldığını belirtmiştir.

Kalyoncuoglu ve Demiryürek,<sup>70</sup> %17 EDTA ve NaOCl'in birlikte kullanımının Er:YAG (1.8 W, 120 mJ, 15 Hz) ve Nd:YAG (1 W, 100 mJ, 15 Hz) lazerlere göre kök kanal duvarlarından smear tabakasını uzaklaştırmada daha etkili olduğunu belirtmiştir.

Lazer ile irrigant aktivasyonunun etkisi, lazerin fiber ucunda buhar kabarcıklarının oluşması, genişlemesi ve sonrasında patlayarak kavitasyon oluşumu ile sağlanır. Boyuttaki bu değişiklikler belirgin bir sıvı hareketine neden olur. Kabarcıkların art arda patlaması, lokalize şok dalgaları oluşturarak belirgin bir sıvı hareketine yol açar. Ayrıca, sonraki lazer atımları ikincil kavitasyon kabarcıklarını indükler, bu da tüm kök kanal sistemi boyunca irrigantın akustik akışı ile sonuçlanır.<sup>71-73</sup>

Er:YAG lazer sistemlerinde, konik şekilde tasarlanan bir fiber uçla kullanılan ve "Foton İndüklenmiş Fotoakustik Dalgalanma" (Photon Induced Photoacoustic Streaming- PIPS) prensibi ile çalışan bir teknik geliştirilmiştir. PIPS olarak isimlendirilen bu teknik, düşük enerjili lazerle fotoaktif dezenfeksiyon yöntemi olarak da adlandırılmaktadır. Fotonların çok düşük enerji seviyeleri (10 ya da 20 mJ) ile kısa atım sürelerinde (50 µs) yayıldığı ileri bir irrigasyon aktivasyon prosedürü olan PIPS tekniğinde; Er:YAG lazer kök kanalında bulunan irrigasyon solüsyonunda fotoakustik şok dalgaları oluşturmaktadır.<sup>72-76</sup>

Divito ve ark.,<sup>74</sup> kök kanallarının şekillendirmesinden sonra konvansiyonel şırınga irrigasyon tekniğine kıyasla EDTA irrigantı kullanılarak PIPS tekniği uygulamasının, dentin yüzeylerine termal zarar vermeden önemli derecede daha fazla smear tabakası uzaklaştırdığını belirtmiştir. Deleu ve ark.,<sup>75</sup> maksiller kanin dişlerin kök kanallarında bulunan debris ve smear tabakasının uzaklaştırılmasında; konvansiyonel irrigasyon, manuel dinamik, pasif ultrasonik, Er:YAG lazer, PIPS tekniği ve diyet lazer olmak üzere farklı irrigant aktivasyon tekniklerinin etkilerini incelemiştir. En fazla smear ve debris tabakasının konvansiyonel irrigasyon grubunda gözlemlendiği, en etkili tekniğin Er:YAG lazer ile aktivasyon olduğu ve diğer gruplar arasındaki farkların istatistiksel olarak önemsiz olduğu rapor edilmiştir. Verstreten ve ark. ise,<sup>76</sup> mandibular molar dişlerin mezial kanallarında NaOCl irrigantını ultrasonik olarak,

konvansiyonel Er:YAG lazer ile ve PIPS tekniği kullanarak aktive etmiştir. Araştırmacılar, kök kanal sisteminden debrisin uzaklaştırılmasında kullanılan aktivasyon teknikleri arasındaki farkların istatistiksel bir önem göstermeyerek benzer performans sergilediklerini belirtmiştir.

Endodontide irrigantların Er:YAG lazerle aktivasyonu ile ilgili en güncel gelişme, "Şok Dalgası ile Emisyonu Arttırılmış Fotoakustik Dalgalanma" prensibini kullanan SWEEPS tekniği (Shock Wave Enhanced Emission Photoacoustic Streaming) olmuştur. Er:YAG lazerin fiber ucu pulpa odasının içerisine yerleştirilerek kullanılan SWEEPS tekniğinin çalışma yöntemi, PIPS'e benzer ancak irrigasyon solüsyonuna çift atımlı lazer ışını ilettiği için etki modu farklıdır.<sup>72,73</sup> Optimal senkronizasyon koşulları altında SWEEPS tekniğinde, ikinci kavitasyon kabarcıklarının büyümesinin, birinci kavitasyon kabarcıklarının yıkımını hızlandırarak şiddetli bir yıkımla sonuçlandığı ve şok dalgalarının yayıldığı belirtilmiştir.<sup>72,77</sup> Tek atım yapan standart PIPS irrigasyon tekniğine göre, SWEEPS irrigasyon prosedüründe basınç dalgalarının daha güçlü olduğu belirtilmiştir.<sup>77</sup> SWEEPS tekniğinin, lazer ile indüklenmiş kabarcıkların yıkımını hızlandırarak şok dalgalarının dar kanallarda da yayılmasını sağlaması nedeniyle irrigasyon etkinliğinin artabileceği belirtilmiştir.<sup>71,77,78</sup>

Yang ve ark.,<sup>73</sup> özellikle isthmus içeren mandibular molar dişlerin mezial köklerinde SWEEPS tekniğinin, PIPS ve ultrasonik irrigasyon tekniklerine kıyasla önemli derecede daha az debris miktarı kaldığını belirtmiştir.

Galler ve ark.<sup>72</sup> ise, tek köklü yuvarlak şekilli düz kanallarda SWEEPS tekniğine göre PIPS ile irrigantların daha derine penetre olduğunu belirtmiştir.

### **Er,Cr:YSGG Lazerin Smear Tabakası Üzerindeki Etkisi**

Bir erbiyum lazer grubu olan Er,Cr:YSGG lazer, aktif ortamı içerisinde erbiyum ve kromyum ile kombine edilmiş itriyum-skandiyum-galyum-garnet katı kristali içermektedir ve 2780 nm dalga boyuna sahiptir. Er,Cr:YSGG lazerlerin etki mekanizmasında "hidrokinetik enerji" kullanılmaktadır. Lazer enerjisinin doku içerisindeki su moleküllerini buharlaştırması sonucu oluşan basınçla birlikte, ayrıca doku yüzeyindeki lazer enerjisinin eksojen su moleküllerinin kinetik enerjilerini arttırması sonucu; mikro patlamalar oluşmaktadır ve hedef dokuda yıkım gerçekleşmektedir.<sup>15,79,80</sup> Sert ve yumuşak dokularda uygulanabilen Er,Cr:YSGG lazerin, kök kanalında kullanımını ile dentinde herhangi bir erime veya karbonizasyona sebep olmadan smear tabakasının uzaklaştırıldığı bildirilmiştir.<sup>81</sup>

1 – 6 W arası farklı çıkış güçlerine sahip Er,Cr:YSGG lazerin susuz ve su soğutması altında kök kanal duvarları üzerindeki etkisinin değerlendirildiği bir çalışmada ise,<sup>82</sup>

su soğutmasız lazer uygulanan tüm örneklerde karbonizasyon ve çatlak alanları gözlenirken, su soğutması altında bazı örneklerde minimal düzeyde karbonizasyon alanları gözlemlendiği belirtilmiştir. Araştırmacılar, su soğutması altında kullanılan Er,Cr:YSGG lazerin kök kanalındaki smear tabakası ve debrisin uzaklaştırılmasında kullanışlı bir teknik olduğunu belirtmişlerdir.

Er,Cr:YSGG lazer ışınlarının düz bir doğrultuda kanal duvarlarına doğru yayılmasını sağlayan fiber optik uçla gerçekleştirilen çalışmalarda da, bakteri eliminasyonu ve smear tabakasının uzaklaştırılmasında yüksek oranlarda başarı elde edildiği bildirilmiştir.<sup>83,84</sup> Endodontik tedavide kök kanalının Er,Cr:YSGG lazer ile irridasyonun, dentin permeabilitesinin artırılmasında etkili olabileceği belirtilmiştir.<sup>85</sup> Dentin permeabilitesinin artırılması ile, medikament ve irrigasyon solüsyonlarının dentin tübüleri içerisine yayılmasını sağlayarak kök kanallarında temizlik ve dezenfeksiyonun daha etkili bir şekilde sağlanabileceği belirtilmiştir.<sup>63,85</sup>

Al-Karadaghi ve ark.,<sup>86</sup> kök kanallarında Er,Cr:YSGG lazer ve çift dalga boylu (2780 nm Er,Cr:YSGG ve 940 nm diyet) lazer irridasyonunun; smear tabakasını uzaklaştırma etkinliğini, dentinin permeabilitesini ve kanal duvarlarında oluşturduğu değişiklikleri incelemiştir. Araştırmacılar; her iki grupta da smear tabakasının etkin bir şekilde uzaklaştırıldığını ve erime ya da karbonizasyon alanlarının gözlenmediğini, çift dalga boylu ışınlanmış örneklerde dentin tübüllerinin halka şeklindeki yapısının korunurken; Er,Cr:YSGG lazer uygulanan grupta düzensiz bir görünüme sahip olduğunu, çift dalga boylu lazer ışınlamasının dentin permeabilitesini önemli derecede arttırdığını bildirmiştir.

Bolhari ve ark.,<sup>87</sup> 1.5 W ve 2.5 W Er,Cr:YSGG lazer ile EDTA-NaOCl irrigasyonunun kök kanalındaki debris ve smear uzaklaştırma etkinliklerini değerlendirmiştir. Araştırmacılar, 1.5 W Er,Cr:YSGG lazer ışınımı ile geleneksel irrigasyon tekniği arasındaki (EDTA ve NaOCl) temizlik etkinlikleri arasında anlamlı bir fark olmadığını ve 2.5 W Er,Cr:YSGG lazer ışınımının smear tabakasını efektif bir şekilde uzaklaştırmadığını belirtmiştir.

Montero-Miralles ve ark.<sup>88</sup> ise, Er,Cr:YSGG ve EDTA'nın kök kanalındaki debris ve smear uzaklaştırma etkinliklerini değerlendirdikleri çalışmada, en temiz kanal duvarlarının lazer ile EDTA'nın birlikte kullanıldığı grupta gözlemlendiğini ve sadece Er,Cr:YSGG lazer kullanılan gruptaki temizlenme etkinliğinin sadece EDTA kullanılan gruba göre daha fazla olduğunu bildirmiştir.

Er,Cr:YSGG ve Er:YAG kullanarak lazer ile aktive edilmiş irrigasyonun kök kanalındaki smear tabakasını uzaklaştırma etkinliğinin değerlendirildiği bir

çalışmada,<sup>89</sup> irrigant olarak NaOCl, % 17 EDTA ve NaOCl + % 17 EDTA birlikte kullanılmıştır. Araştırmacılar, üç irrigant türü için de kullanılan Er,Cr:YSGG ve Er:YAG lazerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığını, smear tabakasını uzaklaştırmada kullanılan yöntemler arasındaki en etkili tekniğin NaOCl + % 17 EDTA birlikte kullanılarak lazer aktivasyonunun yapıldığı gruplar olduğunu rapor etmiştir.

Abduljalil ve Kalender,<sup>11</sup> iki farklı dolum tekniği (soğuk lateral kompaksiyon ve termoplastik enjeksiyon) kullanarak doldurulan kök kanallarına ProTaper Universal NiTi eğelerle retreatment işlemi uygulandıktan sonra, 1.5 W ve 3.0 W Er,Cr:YSGG lazer uygulamasının artık kanal dolgu materyalleri ve smear tabakası üzerindeki etkisini incelemiştir. Araştırmacılar; kanal dolum tekniğinin smear tabakası ve artık dolgu maddeleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olmadığını, hiçbir retreatment prosedürünün kanal dolgu artıklarını tamamen uzaklaştıramadığını, 3.0 W lazer irradasyonunun diğer retreatment prosedürlerine göre kök kanalının koronal ve orta bölümlerinde bulunan smear tabakasını ve artık dolgu maddelerini daha etkili bir şekilde uzaklaştırdığını, apikal bölgede ise retreatment prosedürleri arasında herhangi bir fark bulunmadığını rapor etmiştir. Ayrıca, 3.0 W çıkış gücündeki Er,Cr:YSGG lazer kullanımının bazı örneklerde karbonizasyon alanlarına ve çatlaklara neden olması nedeniyle dikkatli kullanılması gerektiği belirtilmiştir.

Dental lazerlerin kök kanalı duvarlarında bulunan smear tabakası üzerindeki etkinliklerinin değerlendirildiği çeşitli çalışmalarda,<sup>11,31,68,87</sup> uygulanan lazer tipi ve prosedüründen bağımsız olarak kök kanalının koronal ve orta üçlü bölgelerindeki smear tabakası uzaklaştırma etkinliklerinin, apikal üçlü bölgesine göre daha fazla olduğu gösterilmektedir. Abduljalil ve Kalender,<sup>11</sup> bu durumun lazerin fiber ucunun kök kanalının koronal ve orta üçlü bölgelerinde dairesel hareketlerle çalıştırılırken; apikal bölgede artık dolgu maddelerine ve smear tabakasına temas etmeden kanal duvarına paralel olarak hareket ettirilmesi ile ilişkili olabileceğini belirtmiştir. Ayrıca apikal üçlü bölgesinde artış gösteren lateral ve aksesuar kanalların sayısının, bu bulgunun başka bir nedeni olabileceğini rapor etmiştir.

## SONUÇ

Mevcut literatür incelendiğinde, hızla gelişen teknoloji ile birlikte dental lazerlerin kök kanal sistemindeki kullanımının giderek arttığı görülmektedir. Ancak uygun tipte ve parametrelerde kullanılmayan lazerlerin kök kanal duvarlarında; karbonizasyon, çatlak, kırık ve erime gibi istenmeyen etkilerin oluşmasına neden olduğu görülmektedir. Dental lazerlerin farklı özellikler sergilemesi nedeniyle, uygulanacak işlem

doğrultusunda lazer seçimi yapılması ve uygun lazer parametreleri kullanılması gerektiği mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Literatürdeki çalışmalarda, uygulanan prosedürlerden hiçbirinin kök kanal sistemindeki debris ve smear tabakasını tamamen

uzaklaştıramadığı belirtilmiştir. Endodontik tedavinin başarısını etkileyen faktörlerden biri olan debris ve smear tabakasının uzaklaştırılabilmesi için, farklı prosedürlerin geliştirilebilmesi yönünde araştırmalara ve çalışmalara ihtiyaç olduğu düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Wauters T, Wauters J. Should the dentin smear layer be preserved or eliminated? (Review of the literature). *Rev Belge Med Dent (1984)* 2000; 55(2): 93-103.
2. Violich DR, Chandler NP. The smear layer in endodontics - a review. *Int Endod J* 2010; 43: 2-15.
3. Pashley DH, Michelich V, Kehl T. Dentin permeability: effects of smear layer removal. *J Prosthet Dent* 1981; 46(5): 531-537.
4. Safavi KE, Spangberg LS, Langeland K. Root canal dentinal tubule disinfection. *J Endod* 1990; 16: 207-210.
5. Chailertvanitkul P, Saunders WP, MacKenzie D. The effect of smear layer on microbial coronal leakage of guttapercha root fillings. *Int Endod J* 1996; 29: 242-248.
6. Gençoğlu N, Samani S, Gunday M. Dentinal wall adaptation of thermoplasticized gutta-percha in the absence or presence of smear layer: a scanning electron microscopic study. *J Endod* 1993; 19: 558-562.
7. Neelakantan P, Ounsi HF, Devaraj S, Cheung GSP, Grandini S. Effectiveness of irrigation strategies on the removal of the smear layer from root canal dentin. *Odontology* 2019; 107(2): 142-149.
8. Gu L, Kim JR, Ling J, Choi KK, Pashley DH, Tay FR. Review of Contemporary Irrigant Agitation Techniques and Devices. *J Endod* 2009; 35(6): 791-804.
9. Anic I, Tachibana H, Masumoto K, Qi P. Permeability, morphologic and temperature changes of canal dentine walls induced by Nd: YAG, CO<sub>2</sub> and argon lasers. *Int Endod J* 1996; 29: 13-22.
10. Harashima T, Takeda FH, Kimura Y, Matsumoto K. Effect of Nd:YAG laser irradiation for removal of intracanal debris and smear layer in extracted human teeth. *J Clin Laser Med Surg* 1997; 15: 131-135.
11. Abduljalil M, Kalender A. Efficacy of Er,Cr:YSGG Laser with Different Output Powers on Removing Smear Layer After Retreatment of Two Different Obturation Techniques. *Photobiomodul Photomed Laser Surg* 2020; 38(2): 84-90.
12. Goya C, Yamazaki R, Tomita Y, Kimura Y, Matsumoto K. Effects of pulsed Nd:YAG laser irradiation on smear layer at the apical stop and apical leakage after obturation. *Int Endod J* 2000; 33: 266-271.
13. Kivanc BH, Ulusoy OI, Gorgul G. Effects of Er:YAG laser and Nd:YAG laser treatment on the root canal dentin of human teeth: a SEM study. *Lasers Med Sci* 2008; 23: 247-252.
14. Pick RM. Using lasers in clinical dental practice. *J Am Dent Assoc* 1993; 124(4): 37-47.
15. Özcan A, Sevimay M. Diş hekimliğinde lazer. *Türkiye Klinikleri J Dental Sci* 2016; 22(2): 122-129.
16. Israel M, Cobb CM, Rossmann JA, Spencer P. The effects of CO<sub>2</sub>, Nd:YAG and Er:YAG lasers with and without surface coolant on tooth root surfaces. An in vitro study. *J Clin Periodontol* 1997; 24: 595-602.
17. Takeda FH, Harashima T, Kimura Y, Matsumoto K. A comparative study of the removal of smear layer by three endodontic irrigants and two types of laser. *Int Endod J* 1999; 32: 32-39.
18. Coluzzi DJ, Convissar RA, Roshkind DM. Laser Fundamentals. In: Convissar RA. Principles and Practice of Laser Dentistry. 2nd Ed., Mosby, St. Louis, 2016, 12-26.
19. Uysal D, Güler Ç. Diş Hekimliğinde Lazer: Bir Literatür Derlemesi. *Atatürk Üniv Diş Hek Fak Derg* 2012; 6: 44-53.
20. Fleming MG, Maillet WA. Photopolymerization of composite resin using the argon laser. *J Can Dent Assoc* 1999; 65(8): 447-450.
21. Harashima T, Takeda FH, Zhang C, Kimura Y, Matsumoto K. Effect of argon laser irradiation on instrumented root canal walls. *Endod Dent Traumatol* 1998; 14(1): 26-30.
22. Takeda FH, Harashima T, Kimura Y, Matsumoto K. Comparative study about the removal of smear layer by three types of laser devices. *J Clin Laser Med Surg* 1998; 16: 117-122.
23. Kennedy WA, Walker WA 3rd, Gough RW. Smear layer removal effects on apical leakage. *J Endod* 1986; 12(1): 21-7.
24. Karagöz-Küçükay I, Bayırlı G. An apical leakage study in the presence and absence of the smear layer. *Int Endod J* 1994; 27(2): 87-93.
25. Yamazaki R, Goya C, Tomita Y, Kimura Y, Matsumoto K. Study on apical leakage of the teeth after argon laser treatment and obturation. *J Clin Laser Med Surg* 1999; 17(3): 121-125.
26. Kimura Y, Yamazaki R, Goya C, Tomita Y, Yokoyama K, Matsumoto K. A comparative study on the effects of three types of laser irradiation at the



- apical stop and apical leakage after obturation. *J Clin Laser Med Surg* 1999; 17(6): 261-266.
27. Moritz A, Gutknecht N, Schoop U, Goharkhay K, Doertbudak O, Sperr W. Irradiation of infected root canals with a diode laser in vivo: results of microbiological examinations. *Lasers Surg Med* 1997; 21(3): 221-266.
  28. Jurić IB, Anić, I. The Use of Lasers in Disinfection and Cleaning of Root Canals: a Review. *Acta Stomatol Croat* 2014; 48(1): 6-15.
  29. da Costa Ribeiro A, Nogueira GE, Antoniazzi JH, Moritz A, Zezell DM. Effects of diode laser (810 nm) irradiation on root canal walls: thermographic and morphological studies. *J Endod* 2007; 33(3): 252-255.
  30. Wang X, Sun Y, Kimura Y, Kinoshita J, Ishizaki NT, Matsumoto K. Effects of Diode Laser Irradiation on Smear Layer Removal from Root Canal Walls and Apical Leakage after Obturation. *Photomed Laser Surg* 2005; 23(6): 575-581.
  31. Arslan H, Ayrancı LB, Karatas E, Topçuoğlu HS, Yavuz MS, Kesim B. Effect of Agitation of EDTA with 808-Nanometer Diode Laser on Removal of Smear Layer. *J Endod* 2013; 39(12): 1589-1592.
  32. Paqué F, Luder HU, Sener B, Zehnder M. Tubular sclerosis rather than the smear layer impedes dye penetration into the dentine of endodontically instrumented root canals. *Int Endod J* 2006; 39(1): 18-25.
  33. Lagemann M, George R, Chai L, Walsh LJ. Activation of ethylenediaminetetraacetic acid by a 940 nm diode laser for enhanced removal of smear layer. *Aust Endod J* 2013; 40(2): 72-75.
  34. Koçak S, Çiçek E, Sağlam BC, Koçak MM, Türker SA. Influence of Diode Laser Application on the Efficiency of QMiX and EDTA Solutions in Removing Smear Layer. *Photomed Laser Surg* 2015; 33(11): 564-567.
  35. Amin K, Masoodi A, Nabi S, et al. Effect of diode laser and ultrasonics with and without ethylenediaminetetraacetic acid on smear layer removal from the root canals: A scanning electron microscope study. *J Conserv Dent* 2016; 19(5): 424-427.
  36. Abraham S, Vaswani SD, Najan HB, Mehta DL, Kamble AB, Chaudhari SD. Scanning electron microscopic evaluation of smear layer removal at the apical third of root canals using diode laser, endoActivator, and ultrasonics with chitosan: An in vitro study. *J Conserv Dent* 2019; 22(2): 149-154.
  37. Akyuz Ekim SN, Erdemir A. Comparison of different irrigation activation techniques on smear layer removal: An in vitro study. *Microsc Res Tech* 2015; 78(3): 230-239.
  38. Myers ML. The effect of laser irradiation on oral tissues. *J Prosthet Dent* 1991; 66(3): 395-397.
  39. He H, Yu J, Song Y, Lu S, Liu H, Liu L. Thermal and morphological effects of the pulsed Nd:YAG laser on root canal surfaces. *Photomed Laser Surg* 2009; 27(2): 235-240.
  40. Dederich DN, Zakariasen KL, Tulip J. Scanning electron microscopic analysis of canal wall dentin following neodymium-yttrium-aluminum-garnet laser irradiation. *J Endod* 1984; 10: 428-431.
  41. Goodis HE, White JM, Marshall SJ, Marshall GW Jr. Scanning electron microscopic examination of intracanal wall dentin: hand versus laser treatment. *Scanning Microsc* 1993; 7: 979-987.
  42. Levy G. Cleaning and shaping the root canal with a Nd:YAG laser beam: a comparative study. *J Endod* 1992; 18: 123-127.
  43. Moogi PP, Rao RN. Cleaning and shaping the root canal with an Nd: YAG laser beam: A comparative study. *J Conserv Dent* 2010; 13(2): 84-88.
  44. Samiei M, Pakdel SM, Rikhtegaran S, Shakoei S, Ebrahimpour D, Taghavi P. Scanning Electron Microscopy Comparison of the Cleaning Efficacy of a Root Canal System by Nd:YAG Laser and Rotary Instruments. *Microsc Microanal* 2014; 20(04): 1240-1245.
  45. Saunders WP, Whitters CJ, Strang R, Moseley H, Payne AP, McGadey J. The effect of an Nd:YAG pulsed laser on the cleaning of the root canal and the formation of a fused apical plug. *Int Endod J* 1995; 28: 213-220.
  46. Barbakow F, Peters O, Havranek L. Effects of Nd:YAG lasers on root canal walls: a light and scanning electron microscopic study. *Quintessence Int* 1999; 30: 837-845.
  47. Camargo SE, Valera MC, Camargo CH, Fonseca MB, Menezes MM. Effects of Nd:YAG laser irradiation on root canal dentin wall: a scanning electron microscopic study. *Photomed Laser Surg* 2005; 23: 399-404.
  48. Hasheminia SM, Birang R, Feizianfard M, Nasouri M. A Comparative Study of the Removal of Smear Layer by Two Endodontic Irrigants and Nd:YAG Laser: A Scanning Electron Microscopic Study. *ISRN Dent* 2012; 2012: 620951.
  49. Montero-Miralles P, Estevez-Luaña R, DeGregorio-Gonzalez C, Valencia-dePablo O, Jaramillo D, Cisneros-Cabello R. Effectiveness of Nd:YAG Laser on the elimination of debris and Smear Layer. A comparative study with two different irrigation solutions: EDTA and QMix® in addition to NaOCl. *J Clin Exp Dent* 2017; 10: e70-74.
  50. Gurbuz T, Ozdemir Y, Kara N, Zehir C, Kurudirek M. Evaluation of root canal dentin after Nd:YAG laser irradiation and treatment with five different irrigation solutions: a preliminary study. *J Endod* 2008; 34: 318-321.
  51. Shahriari S, Kasraei S, Roshanaei G, Karkeabadi H, Davanloo H. Efficacy of Sodium Hypochlorite

- Activated With Laser in Intracanal Smear Layer Removal: An SEM Study. *J Lasers Med Sci* 2017; 8: 36-41.
52. Da Costa Lima GA, Aguiar CM, Câmara AC, Alves LC, dos Santos FA, do Nascimento AE. Comparison of Smear Layer Removal Using the Nd:YAG Laser, Ultrasound, ProTaper Universal System, and CanalBrush Methods: An In Vitro Study. *J Endod* 2015; 41(3): 400-404.
  53. Ghorbanzadeh A, Aminsobhani M, Sohrabi K, et al. Penetration Depth of Sodium Hypochlorite in Dentinal Tubules after Conventional Irrigation, Passive Ultrasonic Agitation and Nd:YAG Laser Activated Irrigation. *J Lasers Med Sci* 2016; 7(2): 105-111.
  54. Tewfik HM, Pashley DH, Horner JA, Sharawy MM. Structural and functional changes in root dentin following exposure to KTP/532 laser. *J Endod* 1993; 19: 492-497.
  55. Arslan D, Kuştarıcı A. The effect of the KTP laser on smear layer and temperature change: an in vitro study. *Lasers Med Sci* 2017; 33(1): 149-157.
  56. Görüş Z, Meşe A, Tokgöz Çetindağ M, Erdost Evran O. Dişhekimiğinde Kullanılan Er:YAG Laserler. *EÜ Dişhek Fak Derg* 2018; 39(1): 1-7
  57. Bader C, Krejci I. Indications and limitations of Er:YAG laser applications in dentistry. *Am J Dent* 2006; 19(3): 178-186.
  58. Sasaki KM, Aoki A, Ichinose S, Ishikawa I. Ultrastructural analysis of bone tissue irradiated by Er:YAG Laser. *Lasers Surg Med* 2002; 31: 322-332.
  59. Takahashi K, Kimura Y, Matsumoto K. Morphological study of root canal walls with ER:YAG laser. *J Jpn Endod Assoc* 1996; 17: 197-203.
  60. Pecora JD, Brugnera-Júnior A, Cussioli AL, Zanin F, Silva R. Evaluation of dentin root canal permeability after instrumentation and Er:YAG laser application. *Lasers Surg Med* 2000; 26: 277-281.
  61. Paghdiwala AF. Root resection of endodontically treated teeth by erbium: YAG laser radiation. *J Endod* 1993; 19: 91-94.
  62. Ashraf H, Asnaashari M, Darmiani S, Birang R. Smear layer removal in the apical third of root canals by two chelating agents and laser: a comparative in vitro study. *Iran Endod J* 2014; 9(3): 210-214.
  63. Sahar-Helft S, Sarp AS, Stabholtz A, Gutkin V, Redenski I, Steinberg D. Comparison of Positive-Pressure, Passive Ultrasonic, and Laser-Activated Irrigations on Smear-Layer Removal from the Root Canal Surface. *Photomed Laser Surg* 2015; 33(3): 129-135.
  64. Guidotti R, Merigo E, Fornaini C, Rocca J, Medioni E, Vescovi P. Er:YAG 2,940-nm laser fiber in endodontic treatment: a help in removing smear layer. *Lasers Med Sci* 2012; 29(1): 69-75.
  65. Esteves-Oliveira M, de Guglielmi CA, Ramalho KM, Arana-Chavez VE, de Eduardo CP. Comparison of dentin root canal permeability and morphology after irradiation with Nd:YAG, Er:YAG, and diode lasers. *Lasers Med Sci* 2010; 25(5): 755-760.
  66. Korkut E, Torlak E, Gezgin O, Özer H, Şener Y. Antibacterial and smear layer removal efficacy of Er:YAG laser irradiation by Photon-Induced photoacoustic streaming in primary molar root canals: a preliminary study. *Photomed Laser Surg* 2018; 36(9): 480-486.
  67. Yasuda Y, Kawamorita T, Yamaguchi H, Saito T. Bactericidal effect of Nd:YAG and Er:YAG lasers in experimentally infected curved root canals. *Photomed Laser Surg* 2010; 28: 75-78.
  68. Keles A, Kamalak A, Keskin C, Akçay M, Uzun İ. The efficacy of laser, ultrasound and self-adjustable file in removing smear layer debris from oval root canals following retreatment: A scanning electron microscopy study. *Aust Endod J* 2016; 42: 104-111.
  69. Aranha AC, Domingues FB, Franco VO, Gutknecht N, Eduardo Cde P. Effects of Er:YAG and Nd:YAG lasers on dentin permeability in root surfaces: a preliminary in vitro study. *Photomed Laser Surg* 2005; 23(5): 504-508.
  70. Kalyoncuoğlu E, Demiryürek EÖ. A Comparative Scanning Electron Microscopy Evaluation of Smear Layer Removal from Teeth with Different Irrigation Solutions and Lasers. *Microsc Microanal* 2013; 19(06): 1465-1469.
  71. Lukač M, Lukač N, Jezeršek M. Characteristics of Bubble Oscillations During Laser-Activated Irrigation of Root Canals and Method of Improvement. *Lasers Surg Med* 2020; 17. doi:10.1002/lsm.23226 (Epub ahead of print).
  72. Galler KM, Grubmüller V, Schlichting R, et al. Penetration depth of irrigants into root dentine after sonic, ultrasonic and photoacoustic activation. *Int Endod J* 2019; 52(8): 1210-1217.
  73. Yang Q, Liu M W, Zhu L X, Peng B. Micro-CT study on the removal of accumulated hard-tissue debris from the root canal system of mandibular molars when using a novel laser-activated irrigation approach. *Int Endod J* 2020; 53(4): 529-538.
  74. DiVito E, Peters O A, Olivi G. Effectiveness of the erbium:YAG laser and new design radial and stripped tips in removing the smear layer after root canal instrumentation. *Lasers Med Sci* 2010; 27(2): 273-280.
  75. Deleu E, Meire MA, De Moor RJ. Efficacy of laser-based irrigant activation methods in removing debris from simulated root canal irregularities. *Lasers Med Sci* 2015; 30(2): 831-835.
  76. Verstraeten J, Jacquet W, De Moor RJG, Meire MA. Hard tissue debris removal from the mesial root canal system of mandibular molars with

- ultrasonically and laser-activated irrigation: a micro-computed tomography study. *Lasers Med Sci* 2017; 32(9): 1965–1970.
77. Lukač N, Jezeršek M. Amplification of pressure waves in laser-assisted endodontics with synchronized delivery of Er:YAG laser pulses. *Lasers Med Sci* 2018; 33: 823-33.
  78. Lukač N, Muc BT, Jezeršek M, Lukac M. Photoacoustic endodontics using the novel sweeps Er:YAG laser modality. *Journal of the Laser and Health Academy* 2017; 1-7.
  79. Eversole LR, Rizoiu IM, Kimmel AI. Pulpal responses to cavity preparation by an erbium,chromium:YSGG laser powered hydrokinetic system. *J Am Dent Assoc* 1997; 128: 1099-1106.
  80. Meister J, Franzen R, Forner K, et al. Influence of the water content in dental enamel and dentin onablation with erbium YAG and erbium YSGG lasers. *J Biomed Opt* 2006; 11(3): 34030.
  81. Ishizaki NT, Matsumoto K, Kimura Y, et al. Thermographical and morphological studies of Er,Cr:YSGG laser irradiation on root canal walls. *Photomed Laser Surg* 2004; 22: 291-297.
  82. Yamazaki R, Goya C, Yu DG, Kimura Y, Matsumoto K. Effects of erbium,chromium:YSGG laser irradiation on root canal walls: a scanning electron microscopic and thermographic study. *J Endod* 2001; 27: 9-12.
  83. Gordon W, Atabakhsh VA, Meza F, et al. The antimicrobial efficacy of the erbium, chromium:yttrium-scandium-gallium-garnet laser with radial emitting tips on root canal dentin walls infected with *Enterococcus faecalis*. *J Am Dent Assoc* 2007; 138(7): 992-1002.
  84. Schoop U, Barylyak A, Goharkhay K, et al. The impact of an erbium, chromium:yttrium-scandium-gallium-garnet laser with radial-firing tipson endodontic treatment. *Lasers Med Sci* 2009; 24(1): 59-65.
  85. Silva AC, Guglielmi C, Meneguzzo DT, Aranha AC, Bombana AC, de Paula Eduardo C. Analysis of permeability and morphology of root canal dentin after Er,Cr:YSGG laser irradiation. *Photomed Laser Surg* 2010; 28(1): 103-108.
  86. Al-Karadaghi TS, Franzen R, Jawad HA, Gutknecht N. Investigations of radicular dentin permeability and ultrastructural changes after irradiation with Er,Cr:YSGG laser and dual wavelength (2780 and 940 nm) laser. *Lasers Med Sci* 2015; 30(8): 2115-2121.
  87. Bolhari B, Ehsani S, Etemadi A, Shafaq M, Nosrat A. Efficacy of Er,Cr:YSGG laser in removing smear layer and debris with two different output powers. *Photomed Laser Surg* 2014; 32: 527-532.
  88. Montero-Miralles P, Torres-Lagares D, Segura-Egea JJ, Serrera-Figallo MÁ, Gutierrez-Perez JL, Castillo-Dali G. Comparative study of debris and smear layer removal with EDTA and Er,Cr:YSGG laser. *J Clin Exp Dent* 2018; 10(6): e598-e602.
  89. Wang X, Cheng X, Liu B, Liu X, Yu Q, He W. Effect of Laser-Activated Irrigations on Smear Layer Removal from the Root Canal Wall. *Photomed Laser Surg* 2017; 35(12): 688-694.