



**T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ**

**FOTODİNAMİK TERAPİ NEDENİYLE OLUŞAN DİŞ
RENKLENMESİNİN GİDERİLMESİNDE PASİF ULTRASONİK
İRRİGASYONUN ETKİNLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Arş. Gör. İrem Cansu KARA

**ENDODONTİ ANABİLİM DALI
UZMANLIK TEZİ**

**Kasım 2020
BOLU**



**T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ**

**FOTODİNAMİK TERAPİ NEDENİYLE OLUŞAN DİŞ
RENKLENMESİNİN GİDERİLMESİNDE PASİF ULTRASONİK
İRRİGASYONUN ETKİNLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Arş. Gör. İrem Cansu KARA

**ENDODONTİ ANABİLİM DALI
UZMANLIK TEZİ**

TEZ DANIŞMANI: Dr. Öğr. Üyesi İsmail ÖZKOÇAK

**Kasım 2020
BOLU**

ÖZET

FOTODİNAMİK TERAPİ NEDENİYLE OLUŞAN DIŞ RENKLENMESİNİN GİDERİLMESİNDE PASİF ULTRASONİK İRRİGASYONUN ETKİNLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmanın amacı fotosensitizer boyaların PDT’te kullanımı sonrası kullanılan irrigasyon solüsyonlarının pasif ultrasonik irrigasyon sistemi ile aktive edildiğinde dişlerdeki renklemenin azaltılıp azaltılamayacağını değerlendirmektir.

Çalışmamızda 182 adet üst çene keser dişi kullanılmıştır. Kök kanalları X4 boyutuna kadar ProTaper Next döner enstrümanlarla yapılmıştır. Preparasyon sonrası tüm dişlerin başlangıç renkleri (T0), kronlarının her örneğin vestibüler yüzeyinin orta kısmında yapılmış akışkan kompozit çerçeveden ölçülmüştür. Dişler önce 1 adet negatif kontrol grubu (n=14) oluşturulduktan sonra, kullanılan fotosensitizer boyalara göre 3 gruba ayrılmıştır (n=56): 1) Metilen Blue (MB), 2) Toluidin Blue (TB), 3) Indosiyanin Green (ICG). Daha sonra her bir grup boyaları uzaklaştırmada kullanılacak teknik ve solüsyona göre 4’er alt gruba ayrılmıştır: A) Serum fizyolojinin SNI ile birlikte B) Serum fizyolojinin PUI ile birlikte C) %5 NaOCl’nin SNI ile birlikte D) %5 NaOCl’nin PUI ile birlikte kullanıldığı gruplar (n=14 her grup için). Daha sonra dişler belirtilen fotosensitizer boyalarla PDT’ye tabii tutulmuştur. Kök kanalları serum fizyolojikle yıkanıp kurutulup lazer sonrası renk ölçümleri yapıp değerler kaydedilmiştir (T1). Örnekler fotosensitizer boyaların uzaklaştırılması için ayrıldıkları alt gruplara göre SF veya %5 NaOCl’nin SNI veya PUI ile birlikte kullanımıyla irrigate edilmiştir. Boya uzaklaştırma sonrası renk ölçümleri yapıp değerler kaydedilmiştir (T2). Elde edilen L^* , a^* , b^* değerleri ile ΔL_1 , ΔL_2 , ΔE_1 , ΔE_2 , Δa_1 , Δa_2 , Δb_1 , Δb_2 değerlerinin hesaplamaları yapılmıştır.

Elde edilen ΔL_1 , ΔL_2 , ΔE_1 , ΔE_2 , Δa_1 , Δa_2 , Δb_1 , Δb_2 değerlerinin istatistiksel analizinde kontrol grubunun diğer tüm alt gruplarla kıyaslanması için Kruskal Wallis testi ve değişkenler arasındaki korelasyon için 3 faktörlü faktöriyel varyans analizi modeli kullanılmıştır.

Elde edilen veriler değerlendirildiğinde kullanılan 3 boyada da kontrol grubuna kıyasla ΔE_1 anlamlı derecede yüksek bulunmuştur. Ancak boyalar arası anlamlı bir fark bulunamamıştır. Boya uzaklaştırmada, teknikler ya da boyalar fark etmeksizin, SF solüsyonunun ΔE_2 değerleri NaOCl solüsyonundan anlamlı derecede daha yüksek bulunmuştur. SF solüsyonunun SNI ya da PUI teknikleriyle birlikte kullanımında anlamlı bir fark bulunmamıştır. NaOCl solüsyonunun boya fark etmeksizin PUI ile birlikte kullanımında SNI tekniğine kıyasla anlamlı olarak yüksek bulunmuştur.

Çalışmada FS boyalar olan MB, TB ve ICG'nin dişlerde PDT uygulanması sonrası renklenmeye sebep olduğu ve %5 NaOCl'nin teknik ya da boya fark etmeksizin SF'ten daha etkili boya uzaklaştırabildiği görülmüştür. Buna ek olarak PDT'de FS boya kullanımı sonrası dişlerde meydana gelen renklenmenin giderilmesinde %5 NaOCl'nin PUI sistemi ile aktivasyonunun önerilebileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Fotodinamik terapi, Lazer, Pasif ultrasonik irrigasyon, Diş renklenmesi

ABSTRACT

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF PASSIVE ULTRASONIC IRRIGATION ON REMOVAL OF TOOTH DISCOLORING CAUSED BY PHOTODYNAMIC THERAPY

The aim of this study is to evaluate whether the irrigation solutions used after the use of photosensitizer dyes in PDT can be reduced by the passive ultrasonic irrigation system, and whether the discoloration on the teeth can be reduced.

182 maxillary incisors were used. Root canals were prepared up to X4 size with ProTaper Next rotary instruments. The initial colors (T0) of all teeth after preparation were measured from the composite frame made in the middle of the vestibular surface of each specimen of the crowns. After creating 1 negative control group (n = 14), the teeth were divided into 3 groups according to the photosensitizer dyes used (n=56): 1) Methylene Blue (MB), 2) Toluidine Blue (TB), 3) Indocyanine Green (ICG). Then, each group was divided into 4 subgroups according to the technique and solution to be used in removing the dyes: A) Saline combined with standart needle irrigation (SNI) B) Saline combined with passive ultrasonic irrigation (PUI) C) 5% NaOCl combined with SNI D) 5% NaOCl combined with PUI (n = 14 for each group). Then the teeth were exposed to PDT with the specified photosensitizer dyes. Root canals were washed with saline and dried, and color measurements were made after laser and the values were recorded (T1). Samples were irrigated with the use of saline or 5% NaOCl together with SNI or PUI according to the subgroups they were divided into to remove photosensitizing dyes. After dye removal, color measurements were made and the values were recorded (T2). Calculations of ΔL_1 , ΔL_2 , ΔE_1 , ΔE_2 , Δa_1 , Δa_2 , Δb_1 , Δb_2 values were made with the obtained L * a * b * values.

In the statistical analysis of the obtained values of ΔL_1 , ΔL_2 , ΔE_1 , ΔE_2 , Δa_1 , Δa_2 , Δb_1 , Δb_2 , the Kruskal Wallis test was used to compare the control group with all other subgroups. For the correlation between variables, 3-factor factorial variance analysis model was used.

When the obtained data were evaluated, the ΔE_1 was found to be significantly higher in all 3 dyes compared to the control group. However, no significant

difference was found between the dyes. Regardless of technique or dyes, in dye removal, ΔE_2 values of saline solution were found to be significantly higher than NaOCl solution. No significant difference was found in the use of saline solution with SNI or PUI techniques. The use of NaOCl solution with PUI, regardless of the dye, was found to be significantly higher than the SNI technique.

It was observed that the PS dyes MB, TB and ICG cause discoloration on the teeth after PDT and 5% NaOCl can remove the dye more effectively from saline regardless of technique or dye. In addition to this, it was concluded that activation of 5% NaOCl with PUI system could be suggested to remove the discoloration that occurs in the teeth after the use of PS dye in PDT. However, these results should be supported by other future researches.

Keywords: Photodynamic therapy, Laser, Passive ultrasonic irrigation, Tooth discoloration

TEŞEKKÜRLER

Uzmanlık eğitimim ve tez çalışmam sırasında ayırdığı değerli vakti ve yardımları için, danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi İsmail ÖZKOÇAK’a,

Eğitimim süresince bilgi ve tecrübelerini çekinmeden paylaşarak mesleki gelişimime katkı sağlayan, her daim yol gösteren, pratik ya da teorik herhangi bir konuda yardıma ihtiyacım olduğunda yardımını esirgemeyen değerli hocam sayın Doç. Dr. Zeliha UĞUR AYDIN’a,

Tez sürecimde ve öncesinde de hiçbir şekilde yardımlarını esirgemeyen, hem birlikte çalışmaktan hem de aynı şehirde bulunmaktan fazlasıyla mutlu olduğum başta Arş. Gör. Melis Oya ATEŞ, Arş. Gör. Tülin DOĞAN, sevgili eş kıdemlim Arş. Gör. Gamze ER KARAOĞLU ve Arş. Gör. Sevim KOŞUMCU olmak üzere tüm Endodonti Anabilim Dalı araştırma görevlisi arkadaşlarıma,

Arkamda desteklerini her zaman hissettiğim, beni dişlerini tırnaklarına takıp büyüterek bu günlere gelmemi sağlayan çok sevgili annem Aygöl Sevinç KARA ve sevgili babam Mehmet KARA’ya,

Varlıklarıyla bile motivasyon kaynağım olan küçüklerim Sıla KARA ve Leon KARA’ya,

En içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

• ÖZET	iii
• ABSTRACT	v
• TEŞEKKÜR	vii
• İÇİNDEKİLER	viii
• TABLOLAR	xi
• ŞEKİLLER	xiii
• SİMGELER ve KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Kök Kanallarında Enfeksiyon Varlığı ve Dezenfeksiyonun Endodonti İçin Önemi	3
2.2. Kök Kanal Dezenfeksiyonunda Kullanılan Materyaller	5
2.2.1. Sodyum hipoklorit (NaOCl)	5
2.2.2. Etilen diamin tetra asetik asit (EDTA)	6
2.2.3. Klorheksidin glukonat (CHX)	7
2.2.4. Asitler	8
2.2.4.1. Sitrik asit	8
2.2.4.2. Maleik asit	8
2.2.4.3. Tannik asit	8
2.2.4.4. Poliakrilik asit	9
2.2.5. Qmix	9
2.2.6. MTAD	9
2.2.7. TetraClean	10

2.2.8. İyodin potasyum iyodür (IPI)	11
2.2.9. Kalsiyum hidroksit (Ca(OH) ₂)	11
2.2.10. Oktenidin hidroklorid	12
2.2.11. Diğer medikamanlar	13
2.3. Kök Kanal Dezenfeksiyon Yöntem ve Cihazları	13
2.3.1. İğne ve kanüllerle şırınga irrigasyonu	13
2.3.2. Fırçalar	14
2.3.3. Manuel dinamik aktivasyon	14
2.3.4. Döner fırçalar	14
2.3.5. Sürekli irrigasyon altındaki döner alet sistemleri	15
2.3.6. Sonik irrigasyon	15
2.3.7. Pasif ultrasonik irrigasyon	16
2.3.8. Basınç değiştiren cihazlar	17
2.4. Kök Kanallarının Dezenfeksiyonunda Kullanılan Yeni Teknolojiler	18
2.4.1. aPDT (Antimikrobiyal fotodinamik tedavi)	18
2.4.2. Lazerle aktive edilmiş irrigasyon	19
2.4.3. Süperoksitlenmiş / elektrokimyasal olarak aktive su	19
2.4.4. Nanopartiküller	20
2.4.5. Gentlewave	20
2.5. Fotodinamik Terapi (PDT)	21
2.5.1. Fotodinamik terapinin mekanizması	21
2.5.2. Fotosensitizerler ve ışık kaynakları	23

2.5.3. PDT'nin diş hekimliği ve endodontide kullanımı	25
2.5.4. PDT'nin limitasyonları ve dişlerde renk analizi	26
3. YÖNTEM VE GEREÇ	29
3.1. Örnek Dişlerin Dahil Edilme ve Edilmeme Kriterleri	29
3.2. Kök Kanallarının Biyomekanik Preparasyonu	30
3.3. Deney ve Kontrol Gruplarının Oluşturulması ve T0 Renk Ölçümleri	30
3.4. Fotosensitizer Boyaların Hazırlanması ve PDT Uygulanması	33
3.5. Boyaların Kök Kanallarından Uzaklaştırılması	35
3.6. Renk Analizi	37
3.7. İstatistiksel Analiz	37
4. BULGULAR	39
5. TARTIŞMA	48
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	62
7. KAYNAKLAR	63
8. EKLER	80
9. ÖZGEÇMİŞ	81

TABLolar

Tablo	Sayfa
Tablo 2.1. Endodontik enfeksiyonların tedavisinde kullanılan geleneksel yöntemler ve majör limitasyonları	4
Tablo 3.1. Çalışma gruplarının dağılımı	33
Tablo 4.1. ΔL_1 , Δa_1 , Δb_1 ve ΔE_1 değişimlerinin alt gruplardaki tanımlayıcı istatistikleri (Ortalama $\pm$ Standart Sapma)	39
Tablo 4.2. ΔL_2 , Δa_2 , Δb_2 ve ΔE_2 , değişimlerinin alt gruplardaki tanımlayıcı istatistikleri (Ortalama $\pm$ Standart Sapma)	41,42
Tablo 4.3. Her bir boya, her bir solüsyon ve her bir uzaklaştırma tekniğine göre $\Delta L_2'$ ye ait ortalamalar	44
Tablo 4.4. Boyalara ve uzaklaştırma tekniklerine göre Δa_2 ortalamaları	45
Tablo 4.5. Solüsyon ve uzaklaştırma tekniklerine göre Δb_2 ortalamaları	46
Tablo 4.6. Boyaların Δb_2 ortalamaları	46
Tablo 4.7. Solüsyonlara ve uzaklaştırma tekniklerine göre ΔE_2 ortalamaları	47

ŞEKİLLER

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. PDT'nin fotokimyasal mekanizması	22
Şekil 2.2. Renk uzayının koordinatları. $\Delta E (L^* a^* b^*)$ olarak hesaplanan diş renk değişikliği	28
Şekil 3.1. a) VITA Easyshade Advance 4.0 spektrofotometre cihazı, b) Renk ölçümü sonrası cihaz ekranında L^* , a^* ve b^* değerlerinin görüntülenmesi	30
Şekil 3.2. a) Renk ölçümü öncesi dişlerin bukkal yüzeylerine kompozit çerçeve yapılması b-c) Renk ölçümü için cihaz ucunun çerçeveye yerleştirilmesi ve ölçümün gerçekleştirilmesi	31
Şekil 3.3. İçinde distile su bulunan eppendorf tüplerine yerleştirilmiş örnekler (Grup 1)	32
Şekil 3.4. A: Metilen Mavisi (MB), B: Toluidin Mavisi (TB) ve C: İndosiyanın Yeşili (ICG)	34
Şekil 3.5. a) Biolase diyet lazer cihazı (BIOLASE®, BIOLASE Inc., Kaliforniya, ABD)	34
Şekil 3.6. 200 µm çaplı endodontik fiber uç (BIOLASE® ezTips, BIOLASE Inc. , Kaliforniya, ABD)	35
Şekil 3.7. Acteon Newtron P5 XS BLED ultrasonik cihazı (ACTEON North America, Inc.)	36
Şekil 3.8. Pasif ultrasonik irrigasyon ucu (Acteon IrriSafe Files, K25/21 mm, ACTEON North America, Inc.)	36
Şekil 3.9. MB grubundan rastgele bir örneğin soldan sağa sırasıyla T0: herhangi bir işlem uygulanmamış ilk halinin, T1: PDT uygulanması sonrasında, T2: Boya uzaklaştırılması sonrası fotoğrafları	37
Şekil 4.1. Alt gruplara göre ΔE_2 değişimi	44

SİMGELER ve KISALTMALAR

%	Yüzde
s	Saniye
°C	Santigrat derece
¹ O ₂	Singlet oksijen
Hz	Hertz
nm	Nanometre
µm	Mikrometre
mL	Mililitre
mg	Miligram
pH	Bir çözeltinin asitlik veya bazlık derecesinin ölçüsü
W	Watt
Azc	Azulenosiyanin
Ca(OH) ₂	Kalsiyum Hidroksit
CHX	Klorheksidin
EDTA	Etilen Diamin Tetraasetik Asit
E. faecalis	Enterococcus faecalis
Er, Cr: YSGG	Erbium, Chromium-doped: Yttrium, Scandium, Gallium, and Garnet
Er: YAG	Erbium Yttrium Aluminium Garnet
FS	Fotosensitizer/Işığa Duyarlılaştırıcı Boya
H ₂ O ₂	Hidrojen Peroksit

HEBP	Hidroksietiliden Bisfosfonat
ICG	Indocyanine Green
IPI	İyodin Potasyum İyodür
LAD	Lazer ile Aktive edilen Dezenfeksiyon
LAT	Lazerle Aktive Tedavi
LPS	Lipopolisakkarit
MB	Methylene Blue
MTAD	Mixture of Tetracycline, Acid, and Detergent
NaOCl	Sodyum hipoklorit
OCT	Oktenidin Hidroklorür
PCA	Para-kloroanilin
PDT	Fotodinamik Tedavi
PIPS	Photon Induced Photoacoustic Streaming
PUI	Pasif Ultrasonik İrrigasyon
RCC	Reduction in Colony Count (Koloni Sayısında Azalma)
ROS	Reaktif Oksijen Ürünleri
SF	Serum Fizyolojik
SNI	Standart İğne İrrigasyonu
TBO	Toluidine Blue O

1. GİRİŞ

Etkili kök kanal dezenfeksiyonu, başarılı kök kanal tedavisinin temel hedeflerinden ve temel bileşenlerinden biridir. Endodontik araştırmalarda en fazla ilgi duyulan alanlardan biri, kök kanal sistemi içindeki bakterilerin ortadan kaldırılmasıdır. Endodontik tedavi sırasında kök kanallarından patojenlerin ortadan kaldırılmasının zor olduğu (1,2), ve mevcut endodontik tekniklerin kanalları tutarlı bir şekilde dezenfekte edemediği iyi bilinmektedir (3,4). Bu, kök kanal sisteminin karmaşık anatomisinden (2,5), birincil olarak anaerobik bakterilerden oluşan primer endodontik enfeksiyonların polimikrobiyal doğasından (6) ve en içteki kontamine dentin tabakasının kullanılan enstrümantasyon tekniğinden bağımsız olarak yetersiz uzaklaştırılması sonucu kanal duvarlarının bazı kısımlarına ulaşamadan kalmasından kaynaklanır (7).

Bu nedenle irrigasyon, endodontik tedavinin en önemli adımlarından biridir; güçlü antibakteriyel etkileri ve nekrotik doku çözme özellikleri olan bir solüsyonun kök kanal şekillendirme sırasında kullanımı önerilmektedir (8,9). NaOCl, klorheksidin (CHX), etilendiamin tetraasetik asit (EDTA), sitrik asit, hidrojen peroksit, halojenler ve ozon gibi çok çeşitli temizleme, antimikrobiyal ve dezenfekte edici ajanların etki şekli ve etkinliği araştırılmıştır (2,10–12). Şu anda mevcut olan kanıtlar, temel endodontik irrigant olarak %0,5 ile %6 arasındaki konsantrasyonlarda NaOCl kullanımını desteklemektedir (13). Birçok araştırma, NaOCl'in antibakteriyel etkinliğini ve doku çözme kapasitesini göstermiştir (14–16). Ancak, NaOCl vital dokulara temas ettiğinde; hemoliz ve ülserasyona neden olmakta, nötrofil göçünü engellemekte ve endotel ve fibroblast hücrelerine zarar vermektedir (17). Ayrıca endodontide rutin olarak kullanılan dezenfekte edici ajanlar ve antimikrobiyal tıbbi ürünler dentin, doku sıvıları ve organik maddeler tarafından inaktive edilebilir; bu da yetersiz inorganik doku çözülmesine ve bakterilerin tamamen yok edilememesine neden olur (18–21). Kök kanal sistemi için sitotoksik etkiler olmadan ekstra dezenfeksiyon sağlamak ve tedavi başarı oranını arttırmak için yapılan araştırmalarda çeşitli lazer dalga boyları (22), negatif basınçlı irrigasyon sistemleri (23), sonik ve ultrasonik irrigasyon (24–26), nanopartiküller (27), mikroorganizmaların hücre

membranlarındaki akış pompalarının inaktivasyonunu sağlayan sistemler (28) ve fotodinamik terapi (PDT) gibi yenilikçi teknikler literature sunulmuştur.

Fotodinamik terapi (PDT) 1960'larda 'ışığın indüklediği hücre, mikroorganizma ya da molekül inaktivasyonu' olarak tanımlanmış bir tedavi yöntemidir (29). PDT, düşük toksisitesi ve antimikrobiyal etkisi nedeniyle endodontik tedavi sırasında bir destekleyici olarak önerilmiştir (30). Bu, seanslar arasında mikrobiyal çoğalmayı önleme kapasitesini ve patojenlerin yüksek oranda ortadan kaldırılmasını vurgular (31). PDT, hedef doku üzerinde ışığa duyarlılaştırıcı (FS: fotosensitizer) olarak bilinen toksik olmayan bir boya kullanır. Terapi, bu FS molekülünü uyarılmış tekli duruma getirmek için uygun dalga boyunda ve oksijen varlığında görünür ışık verilmesi ile reaktif oksijen ürünleri (ROS) üretilmesini, bunun sonucunda da bakterilerin elimine edilmesini içerir (32).

Diş hekimliğinde PDT uygulamaları hızla ilerlemektedir; kullanım alanları, oral kanserlerin yanı sıra bakteriyel ve fungal enfeksiyonların tedavisi ve oral lezyonların malign dönüşümünün fotodinamik tanısını da kapsar (33). Fotodinamik terapinin konvansiyonel anti-kanser tedavilerine göre potansiyel avantajları arasında; non-invaziv ve hasta için uygun olması, orta derecede yan etkileri bulunması, toplam doz sınırlamalarına gerek kalmadan tekrarlanan dozlar verilebilmesi, erken veya lokalize hastalıklarda doğru ve selektif bir biçimde doku hedeflemesi gibi özellikler bulunmaktadır (34). Günümüzde endodontik tedavide PDT kullanımı, *in vivo* (35–37), *in vitro* (38,39) ve *ex vivo* (40) bakteriyel yük azalması açısından test edilmiş ve umut verici sonuçlar göstermiştir. Bonsor ve arkadaşları, başlangıç kök kanal tedavisinde PDT'nin antimikrobiyal etkinliğini %2,5 NaOCl ile karşılaştırmış ve sonuçların PDT'nin kök kanal dezenfeksiyonunda NaOCl kadar etkili olabileceğini bildirmiştir (5).

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kök Kanallarında Enfeksiyon Varlığı Ve Dezenfeksiyonun Endodonti İçin Önemi

Kök kanal tedavisinin temel amacı, kök kanal sisteminden ve kökün etkilenmiş dentininden mikroorganizmaları ortadan kaldırarak, kök kanal dolgusu yerleştirilmeden önce steril bir alan elde etmektir (41). Bununla birlikte, geleneksel endodontik el aletleri ve güçlendirilmiş endodontik eğeler kök kanalının tüm duvarlarına temas etmez (42), deltalar, isthmuslar, dallanmalar ve aksesuar kanallar gibi erişilmesi zor alanlarda biyofilm kalıntıları kalır. Mikrobiyal zorlukla mücadele etmek için, sodyum hipoklorit (NaOCl) gibi doku çözme kabiliyetine sahip lokal antimikrobiyal yıkama solüsyonlarının mekanik enstrümantasyonla birlikte kullanılması, endodontik tedavide "altın standart" kabul edilmiştir (43). Kök kanallarının dezenfeksiyonunda irrigasyon solüsyonları ve kanal içi medikamanlar kullanılmaktadır.

Yukarıda belirtilen yetersiz dezenfeksiyon problemlerine ek olarak, kök kanalının dentin duvarları bazı materyallerle etkileşime girer ve etkinliklerini azaltır. Irrigasyon materyallerinin periapikal dokulara ekstrüzyonu, komplikasyonlara neden olabilir. Yeterli irrigasyon ile apeksten ekstrüzyonu önleyecek kadar düşük basınçlar arasında denge sağlama girişiminde zorluklar ortaya çıkabilir. Güvenilir ve eksiksiz dekontaminasyon ve dezenfeksiyon sağlanması, klinisyenler için hala büyük bir zorluktur (Tablo 2.1.).

Tablo 2.1. Endodontik enfeksiyonların tedavisinde kullanılan geleneksel yöntemler ve majör limitasyonları (44)

Yöntem	Majör Limitasyonlar
Fiziksel (Mekanik) Debridman	
El Eğeleri	Kök kanalının duvarlarıyla temassız, alet kırılması
Rotary Eğeler	Duvarlarla sınırlı temas, aşırı dentin yapısının çıkarılması
Ultrasonik Eğeler	İrrigasyon sıvısının sınırlı aktivasyonu, apikal sıvı ekstrüzyonu
İrrigasyon Solüsyonları	
Sodyum Hipoklorit	Kimyasal irrigasyon, kimyasal kararsızlık; alet korozyonu
Hidrojen Peroksit	Kimyasal irrigasyon, diğer irrigasyon solüsyonları ile etkileşimler
Klorheksidin	Sınırlı aktivite spektrumu, kimyasal bozunma
EDTA	Antimikrobiyal etki yok, sodyum hipokloriti etkisiz hale getirir
Medikaman Patları	
Kalsiyum Hidroksit	Aquöz(sulu) preparatlar için sınırlı alkalın pH
Fenolik Bileşikler	Sınırlı aktivite spektrumu, kimyasal tahriş
Tetrasiklinler	Birinci kuşak tetrasiklinlerin köklerin boyanması
Klindamisin	E. faecalis'in doğal direnci, advers etkiler

İdeal bir irrigasyon solüsyonu aşağıda belirtilen özelliklerin hepsini taşımaktadır (45):

- Etkili bir mikrop öldürücü ve fungusit olmalı,
- Periapikal dokulara karşı irritan olmamalı,
- Çözeltide stabil kalmalı,
- Uzun süreli antimikrobiyal etkiye sahip olmalı,
- Kan, serum ve doku protein türevleri varlığında aktif olmalı,
- Düşük yüzey gerilimi olmalı,
- Periapikal dokuların onarımını engellememeli,
- Diş yapısını lekelememeli,
- Bir kültür ortamında inaktivasyon yapabilmeli,
- Hücre aracılı immün cevap oluşturmamalı,
- Smear tabakasını tamamen çıkarabilmeli ve alttaki dentin ve tübüllerini dezenfekte edebilmeli,
- Dişi çevreleyen doku hücrelerine antijenik, toksik ve kanserojen olmamalı,
- Ekspoze dentin üzerinde olumsuz etkileri olmamalı,

- Dolgu malzemelerinin sızdırmazlık özelliği üzerinde olumsuz bir etkisi olmamalı,
- Uygun bir uygulaması olmalı,
- Nispeten ucuz olmalıdır.

Ancak günümüzde tüm özellikleri içinde barındıran böyle bir solüsyon bulunmamaktadır.

2.2. Kök Kanallarının Dezenfeksiyonunda Kullanılan Materyaller

Antimikrobiyal etkinliklerine, temizleme verimliliğine ve biyolojik uyumluluklarına bağlı olarak dezenfeksiyonda çeşitli kanal içi medikamanlar ve irrigasyon ajanları kullanılır.

2.2.1. Sodyum hipoklorit (NaOCl)

NaOCl, antibakteriyel kapasitesi ve nekrotik doku, vital pulpa dokusu ve dentin ve biyofilmlerin organik bileşenlerini hızlı bir şekilde çözme kabiliyeti (46) sayesinde en yaygın kullanılan (47) irrigasyon çözeltisidir. Mevcut klinik protokollerin çoğu, fiziksel enstrümantasyonla birlikte, %2,5-6 sodyum hipoklorit (NaOCl) çözeltileri ile bol irrigasyon uygulanmasını içerir (44). Bu NaOCl formülasyonları ayrıca sodyum klorür, sodyum hidroksit (pH değiştirici olarak) ve bir veya daha fazla yüzey aktif madde bulundurmaktadır.

Sodyum hipoklorit doku proteinlerine temas ettiğinde, azot, formaldehit ve asetaldehit oluşur. Peptit bağlantıları ve proteinler parçalanır, böylece amino gruplarındaki (-NH-) hidrojenin yerine klor oluşturan kloraminler (-NCl-); bu antimikrobiyal etkinlik için önemli bir rol oynar. Nekrotik doku ve pü çözülür ve antimikrobiyal ajan enfekte bölgelere daha iyi ulaşabilir ve temizleyebilir.

NaOCl'in kök kanal biyofilmlerine karşı etkisini arttırmak ve doku çözme kabiliyetini arttırmak için var olan yöntemler arasında, yüzey gerilimini azaltmak, solüsyon ısını arttırmak ve çözeltinin dentin tübüllerine nüfuzunu arttırmak için setrimid veya benzalkonyum klorür gibi çeşitli deterjanların ilave edilmesi (48,49) yer alır. Daha yüksek konsantrasyonlardaki NaOCl, daha iyi bir doku çözme

kabiliyetine sahiptir (50). Bununla birlikte, daha düşük konsantrasyonlarda fazla hacimlerde kullanıldığında eşit derecede etkili olabilir (11,51).

Düşük konsantrasyonlu NaOCl çözeltilerinin sıcaklığının artırılması, doku çözülme kapasitelerini artırır (13). NaOCl şırıngalarını önceden ısıtmak için çeşitli cihazlar vardır; bununla birlikte, irrigasyon solüsyonu kök kanal sistemine dokunduğunda, sıcaklığın vücut sıcaklığına ulaştığı gösterilmiştir (52). Bu nedenle, bazı yazarlar NaOCl'nin yerinde ısıtılmasını önermektedir. Bu, kök kanal içindeki NaOCl'ye ultrasonik veya sonik uçları birkaç dakika aktive ederek yapılabilir.

NaOCl'in etkisini arttırmanın diğer yolları arasında, antimikrobiyal etkilerini arttıran ve bakteriyel endotoksin seviyelerini azaltan kalsiyum hidroksit eklenmesi (53) ve ultrasonik aletler veya titreşimli orta kızılötesi lazerler (Er: YAG veya Er, Cr: YSGG lazerleri gibi) kullanılarak çözeltinin fiziksel aktivasyonu bulunur. Piezo elektrikli ultrasonik cihazlarla yapılan ultrasonik ajitasyon, hareketli bir uç gerektirir ve rastgele kavitasyon olayları yaratırken; lazer ajitasyon sabit bir uç kullanır ve orkestre kavitasyon olayları oluşturur. Bu, lazerlerin ajitasyon için neden ultrasonik cihazlardan daha üstün olduğunu açıklar (44).

Eğer yanlışlıkla NaOCl apeksten ekstrüde edilirse, ciddi kazalar meydana gelebilir. NaOCl ile bir kazadan sonra aşağıdakiler beklenebilir: şiddetli ağrı, komşu yumuşak dokuların ödemi, yüz ve üst dudağın yaralı yarısında ödemin olası uzaması, kök kanalından bol miktarda kanama, cilt ve mukoza kanaması ile bol miktarda interstisyel kanama (ekimoz), klor tadı ve maksiller sinüse enjeksiyondan sonra boğazda tahriş, sekonder enfeksiyon ve geri dönüşümlü anestezi veya parestezi mümkündür (45).

2.2.2. Etilen diamin tetra asetik asit (EDTA)

Etilendiamintetraasetik asit (EDTA), $(\text{HO}_2\text{CCH}_2)_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H})_2$ formülüne sahip, suda çözünebilen, bir poliamino karboksilik asittir. Karboksilat ve amin grupları, EDTA'da metal bağlanmasından sorumludur. Suda çözündüğünde, EDTA molekülleri iki ve üç değerli metal iyonları ile oldukça kararlı kompleks iyonlar oluşturabilir. EDTA'nın ilk formülasyonu, 1935 yılında Ferdinand Munz tarafından etilendiamin ve kloroasetik asitin bir kombinasyonu olarak öne sürülmüştür (54,55).

EDTA yeni formülasyonlarda sıklıkla 1,2 diaminoetan (etilendiamin), formaldehit (metanol), su ve sodyum siyanürün kombinasyonu şeklinde bulunur (55). Kalsiyum iyonları ile EDTA reaksiyonunun sonucu çözünür kalsiyum şelatlarıdır. EDTA, 5 dakika içinde 20-30 µm derinlikte dentini demineralize eder (56). NaOCl'in inorganik dentin partiküllerini çözmemesi, enstrümantasyon sırasında oluşan smear tabakası formasyonunu engelleyememesi (57) ve bunlara ek olarak, kök kanal sisteminde sıklıkla karşılaşılan kalsifikasyonlar nedeni ile mekanik preparasyonun zorlaşması, EDTA gibi demineralize edici ajanların kök kanal tedavisinde destekleyici olarak kullanımını öne çıkarmıştır (58).

EDTA'nın kök dentinin hidrofobikliğini ve yüzey serbest enerjisini azalttığı (59) ve böylelikle bakteriyel yapışma, yapışma kuvvetleri ve *E. faecalis*'in dentin ile biyofilm oluşumunun doğasını etkilediği bildirilmiştir (60). Antiseptik kapasitesi nispeten sınırlı olmasına rağmen (61), şelatörlerin kök kanal duvarlarına yapışan biyofilmleri ayırabilmesi, intrakanal mikrobiyotayı azaltmada EDTA'nın neden salinden yüksek derecede üstün olduğunu kanıtladığını (62) açıklayabilir.

2.2.3. Klorheksidin glukonat (CHX)

Klorheksidin (CHX), geniş spektrumlu antibakteriyel aktiviteye sahip katyonik bir bisbiguanid antiseptiktir. Katyonik yük, negatif yüklü bakteri yüzeyine elektrostatik bağlanmaya izin verir, hücre duvarının dış katmanlarına zarar verir ve geçirgen hale getirir. Konsantrasyona bağlı olarak, etkiler bakteriyostatik veya bakterisidal olabilir.

Sıvı, jel veya kontrollü salım cihazları gibi farklı klorheksidin formları hem *in vitro* (63–65) hem de *in vivo* (66,67) bir intrakanal ilaç olarak incelenmiştir. *In vitro* çalışmaların çoğu olumlu sonuçlar göstermiştir. CHX enfekte kök kanallarında bulunan bakteri suşlarına karşı etkilidir (68), dentin içinde tutulur ve 12 haftaya kadar antimikrobiyal olarak aktiftir (69). Bununla birlikte, doku çözünme kapasitesinden yoksundur ve gram-negatif bakteriler üzerinde gram-pozitif ile karşılaştırıldığında daha az etkilidir (15). Bu nedenle, CHX NaOCl'nin yerini alamaz. Bununla birlikte, NaOCl ve EDTA'dan sonra ek irrigasyon olarak kullanılabilir.

2.2.4. Asitler

İnorganik dokuyu yumuşatarak mekanik preparasyonu kolaylaştıran asitler, günümüzde klinik olarak pek kullanılmamaktadır. Bunun temel nedenleri arasında, asit yapısında oldukları için periapikal dokulara irritasyon riski bulunması, enstrümanlarda korozyona sebebiyet ve bunun sonucunda kırılmaya sebep olması bulunmaktadır.

2.2.4.1. Sitrik asit

Sitrik asit organik zayıf bir asit ve oda sıcaklığında beyaz bir kristal tozudur. Smear tabakasını çıkarmak için kök kanalında bir irrigasyon maddesi olarak kullanılabilir (70). %1 ila %50 arasında değişen konsantrasyonlar kullanılmıştır (71).

2.2.4.2. Maleik asit

Maleik asit ($C_4H_4O_4$), butendioik asidin trans izomeri ve fumarik asidin cis-izomeri olan bir dikarboksilik organik asittir. Maleik asit, restoratif diş hekimliğinde bir asit etchant olarak smear tabakası çıkarma özelliğine sahiptir (72). Ballal ve ark. (73) maleik asidin kök dentin mikro sertliğini azaltmada EDTA'ya benzer bir etkiye sahip olduğunu, ancak yüzey pürüzlülüğünü EDTA'dan önemli ölçüde arttırdığını göstermiştir.

%7 maleik asit ile nihai irrigasyon, %17 EDTA ile karşılaştırıldığında obtürasyon sonrası apikal tıkamayı iyileştirebilir ve NaOCl ile karşılaştırıldığında minimum doku çözünme kapasitesine sahiptir (74).

2.2.4.3. Tannik asit

Bitter, tannik asidin %25'inin smear tabakasını çıkarma etkinliğine sahip olduğunu bildirmiştir (75). Takahashi ve ark. (76) tarama elektron mikroskobu kullanılarak bir çalışma gerçekleştirmiş ve 60 saniye boyunca %2 tannik asit veya 15, 30 veya 60 saniye boyunca %5 tannik asit uygulamasının smear tabakasını etkili bir şekilde uzaklaştırdığını açıklamıştır.

2.2.4.4. Poliakrilik asit

%40 konsantrasyonda poliakrilik asit (Fuji II sıvısı ve Durelon sıvısı), çok etkili bir smear tabakası çıkarma maddesi olarak rapor edilmiştir. Dentin tübüllerinde açıklık elde edebilmek için, çalışma kılavuzuna göre aside maruz kalma süresi 30 saniyeden az olmalıdır (77).

2.2.5. Qmix

QMIX, kök kanalını irriye etmek için yeni tanıtılan karışımlardan biridir. NaOCl irrigasyonu sonrası enstrümantasyonun sonunda kullanılması önerilmektedir. Kullanıma hazır berrak bir çözelti olarak gelen CHX, EDTA ve bir deterjan içerir. Yukarıda belirtildiği gibi, QMiX kullanımı son irrigasyon ile sınırlıdır. QMiX ve NaOCl karışımında hiçbir çökelti tanımlanmamış olmasına rağmen, PCA oluşumunu önlemek için temizleme ve şekillendirme işlemleri boyunca sodyum hipoklorit kullanıldığında NaOCl için salin irrigasyonu yapılmalıdır (78,79).

Stojicic ve ark. (78) tarama elektron mikroskobu kullanarak bir çalışma gerçekleştirdi ve Q-Mix'in EDTA'ya benzer smear tabakasını çıkardığı sonucuna vardı. Başka bir çalışma, QMiX'in, ilk yıkama olarak %5,25 NaOCl uygulanmasından sonra %17 EDTA ile benzer smear tabakası çıkarma kabiliyetine sahip olduğunu göstermiştir (79).

2.2.6. MTAD

MTAD olarak da bilinen BioPure (Dentsply, OK, ABD, Tulsa Dental, Tulsa), Torabinejad ve ark. tarafından 2003 yılında tanıtılmıştır. İçeriği: %4,25 sitrik asit, %3 doksisisiklin ve bir deterjandan (%0,5 Polisorbat 80) oluşur. Özellikle kanalların NaOCl ile irrigasyonunu müteakiben MTAD ile irriye edilmesi durumunda, dentin tübül yapısında minimum değişikliklerle smear tabakasının çıkarılması için etkili bir çözüm olarak Torabinejad ve ark. MTAD'ı ilk kez önermişlerdir (80). Torabinejad tarafından yapılan bir başka araştırma (81), intrakanal bir irrigant olarak MTAD'ın smear tabakasının çoğunu ortadan kaldırabildiğini, ancak smear tabakasının organik kısımlarının kalıntılarının kanal duvarlarına dağılabileceğini bildirmiştir.

Tay ve ark. (82), hem EDTA hem de MTAD'nin, dentinal tübüllerin etrafında ve aşınmış dentin içindeki matrikslerde demineralize bir kolajen bölgesi oluşturabildiğini ve asidik Bio Pure MTAD'ın EDTA'dan hafifçe daha agresif olduğunu bulmuştur. Bir ultrastrüktürel çalışmada, aynı araştırmacı MTAD tarafından ortaya çıkan demineralize dentin matrisinin EDTA'dan daha kalın olduğunu göstermiştir.

2.2.7. Tetraclean

Tetraclean, MTAD'a benzer şekilde bir asit, bir antibiyotik ve bir deterjanın bir kombinasyonudur. Bununla birlikte, MTAD ile deterjan tipi (polipropilen glikol) ve antibiyotik, doksisisiklin (50 mg/mL) konsantrasyonu gibi farklılıkları vardır (83). Giardino ve ark. Tarafından yapılan bir karşılaştırmada (84) %17 EDTA, %5,25 NaOCl, MTAD, Cetrexidin, Smear clear ve Tetraclean'in yüzey gerilimi arasında EDTA ve NaOCl en yüksek dereceli yüzey gerilimlerini gösterirken Tetraclean ve Cetrexidin en düşük oranlara sahip bulunmuştur. Tetraclean, diğer irrigasyon solüsyonlarından daha yüksek Ca^{+2} salınımına neden olur, bu da test edilen diğer irrigantlara göre önemli ölçüde daha yüksek demineralize etme yeteneğini kanıtlamaktadır (85).

Antimikrobiyal etkilerinin yanı sıra tetrasiklinler, memeli kollajenazlarını ve klast hücrelerini inhibe ederek doku yıkımını önleme gibi birçok özelliğe sahiptir (86). Ayrıca, bu hastalıklarda yükselen doku kolajenazlarını bloke etme kabiliyeti nedeniyle periodontitis gibi enflamatuvar hastalıklarda kollajen ve kemik oluşumunu artırabilir. Smear tabakasının çıkarılması, kanal duvarlarının enstrümantasyonu sırasında tetrasiklinin kullanım alanlarından biridir (87). Ayrıca periapikal cerrahi prosedürlerde retrograd kavitelelerin irrigasyonu için (88) ve intrakanal ilaç olarak (89) kullanılır.

2.2.8. İyodin potasyum iyodür (IPI)

İyot potasyum-iyodürün (IPI) etkili bir antimikrobiyal ajan olduğu gösterilmiştir ve yaygın olarak kullanılan kök kanal antiseptiklerine kıyasla düşük bir sitotoksosite seviyesine sahiptir (90). Sodyum hipoklorit içerisindeki klorine göre etkinliği daha az olmakla birlikte bakterisidal, fungusidal, tüberkülosidal, virüsidal

ve sporisidal etkinliğe sahiptir, fakat doku çözücü özelliği bulunmamaktadır. IPI, kök kanalında kalan organik materyal ile oldukça hızlı bir şekilde inaktive edilir ve antimikrobiyal aktivitesinin 1 ila 3 gün arasında devam ettiği bildirilmiştir (91). Bir çalışma, titizlikle enstrümente edilmiş bir kök kanalına, %5 IPI ile 10 dakikalık pansuman içeren tek ziyaretli bir antimikrobiyal tedavinin, Ca(OH)_2 kullanılarak iki ziyaret prosedürü kadar etkili olabileceğini göstermiştir (92).

2.2.9. Kalsiyum hidroksit (Ca(OH)_2)

Kalsiyum hidroksit beyaz ve kokusuz bir tozdur. Bu toz, uygun bir taşıyıcı ile karıştırılarak pat formu elde edilir. Kalsiyum hidroksitin, diş hekimliğinde, kök kanal enfeksiyonlarının tedavisinde, vital pulpa tedavilerinde, travma olgularında, apeksifikasyonda ve rezorpsiyonlarda olmak üzere geniş bir kullanım alanı mevcuttur ve dezenfeksiyon bunların içinde önemli bir yer tutmaktadır. Ca(OH)_2 'nin ana özellikleri arasında sınırlı çözünürlük, yüksek pH, geniş spektrumlu bir antimikrobiyal ajan olarak kullanım ve antimikrobiyal etkiyi uzun süre devam ettirme yeteneği bulunur (45). pH'sı 12,5-12,8 aralığındadır (93). Bu pH, kostik etki sağlayıp nekrotik dokuları eritirken aynı zamanda irritasyon gibi yan etkilere sebep olabilir. İrrigasyon solüsyonu olarak kullanımında nekrotik doku çözmede yetersiz olduğu bildirilmiştir (94). Ayrıca irrigasyon solüsyonu ya da medikaman olarak kullanımında dentin tübüllerinin ağızlarında birikerek kök kanal tedavisinde kullanılan patların adezyonunu azaltabilir.

Ca (OH)_2 , yavaş etkili bir antiseptiktir; *in vitro* direkt temas deneyleri enterokokların tamamen öldürülmesi için 24 saatlik bir temas süresinin gerekli olduğunu göstermektedir (4,95). Bakterileri öldürmeye ek olarak, Ca(OH)_2 , bakteriyel lipopolisakkaritlerin (LPS) lipid kısmını hidrolize etme ve böylece lipopolisakkaritin biyolojik aktivitesini etkisiz hale getirme ve etkisini azaltma konusunda faydalı bir kabiliyete sahiptir (96,97). Bu arzu edilen bir etkidir, çünkü ölü hücre duvarı materyali bakteriler öldürüldükten sonra kalır ve periradiküler dokudaki enflamatuvar yanıtları uyarmaya devam edebilir.

Kalsiyum hidroksitin dokular üzerindeki diğer etkileri şöyledir:

1. Alkalen fosfataz aktivitesiyle sert doku oluşumunu uyarır,

2. Hidralaz nötralizasyonu ile osteoklastik mekanizmayı durdurur ve bu sayede rezorpsiyonların tedavisinde kullanılır,

3. Sahip olduğu hidroskopik aktivite, fosfolipaz inhibisyonu ve kalsiyum proteinat köprüleri ile antiinflamatuvar etki gösterir,

4. Organik doku çözebilir,

5. Hemostatik etki gösterir,

6. Alkalen pH'sı nedeniyle antibakteriyel etki gösterir (98).

Ancak kalsiyum hidroksitin kullanımı ile ilgili bazı limitasyonlar mevcuttur. Ca(OH)_2 'nin işlenmesi ve doğru yerleştirilmesi klinisyene bir zorluk oluşturmaktadır (99,100). Ayrıca, Ca(OH)_2 kanallardan yetersiz çıkarılabilir, (101), salin, NaOCl veya EDTA ile bol irrigasyon yapıldıktan sonra bile kanal duvarı yüzeylerinin %20 ila %45'ini kaplayan bir kalıntıya neden olur. Kalan Ca(OH)_2 , çinko oksit öjenol bazlı endodontik patların sertleşme zamanını kısaltabilir (102). En önemlisi, kök dolgusunun sızdırmazlığına müdahale edebilir ve tedavi kalitesini tehlikeye atabilir (45). Ek bir endişe, Ca(OH)_2 'nin, E. faecalis ve Candida albicans dahil olmak üzere çeşitli endodontik patojenlere karşı tamamen etkili olmamasıdır (103). Ca(OH)_2 'nin, kök kanalından bakterileri tamamen yok etme yeteneği sorgulanmıştır.

2.2.10. Oktenidin hidroklorid

Oktenidin hidroklorür (OCT), Sterling Winthrop Araştırma Enstitüsü'nde potansiyel topikal antimikrobiyal ajan olarak geliştirilmiştir (104). Bu bileşikle yapılan daha önceki çalışmalar, plak oluşturan bakterilerin büyümesinin önlenmesinde (105–107) ve hem deney hayvanlarında (108) hem de insanlarda (109) plak gelişiminin azaltılmasında etkili olduğunu göstermiştir. Oktenidin, iyi karakterize edilmiş bisbiguanid klorheksidininkine benzer bakterisidal aktivitelere sahip olduğu bulunmuştur (106).

2.2.11. Diğer medikamanlar

Cetrexidine, oksin türevleri (8-hidroksikinolin), HEBP, SmearClear, proteolitik enzimler, karbamid peroksit, sodyum dikloroizosiyanürat, yeşil çay, propolis, hindistan cevizi suyu gibi materyaller de kök kanal dezenfeksiyonunda tercih edilebilmektedir.

2.3. Kök Kanal Dezenfeksiyon Yöntem ve Cihazları

Kök kanal irrigasyonunun etkinliğini artırabilmek ve kullanılan solüsyonların toksik etkilerinden kaçınabilmek amacıyla çeşitli yöntem ve cihazlar endodonti kliniğine kazandırılmıştır.

Bir sistematik derlemede, mekanik aktif irrigasyon cihazlarının, kanal ve isthmus temizliğini sağlamada ve irrigasyon materyalinin çalışma uzunluğuna ulaşmasında, tedavi sonrası ağrıya neden olmadan klinik olarak etkili olduğu belirtilmiştir (110).

2.3.1. İğne ve kanüllerle şırınga irrigasyonu

Bir şırınga ve iğne vasıtasıyla irrigasyon solüsyonunun kanala uygulanması; tam yerleştirmeye, mevcut sıvının yenilenmesine, daha büyük debris parçalarının uzaklaştırılmasına ve ayrıca iğne ucuna yakın bölgelerdeki mikroorganizmalarla doğrudan temasa izin verir. Pasif şırınga irrigasyonunda, gerçek irrigant değişimi, iğne ucunun 1 ila 1.5 mm apikaliyle sınırlıdır, iğne ucunun yakınında sıvı dinamiği gerçekleşir (13,111).

Sıvı akışının hacmi ve hızı, bir kök kanalındaki temizleme etkinliği ile orantılıdır (111). İğne ucunun çapı ve konumu başarılı kemomekanik debridmanı belirler; kanalın apikal kısmında sıvı değişimini garanti etmek için çalışma uzunluğuna yakın yerleştirme gereklidir, ancak ekstrüzyonu önlemek için kontrollü ve dikkatli çalışma gereklidir (111,112). Farklı boyut ve tiplerde irrigasyon iğneleri vardır. Irrigasyon iğnesinin boyutu kanal büyüklüğüne ve konikliğine bağlı olarak seçilmelidir (113,114). Daha büyük çaplı iğneler daha hızlı ve daha büyük miktarda sıvı değişimine izin verse de, daha geniş çap, kök kanal sisteminin apikal ve daha dar alanlarının temizlenmesine izin vermez (45).

2.3.2. Fırçalar

Fırçalar irrigasyon solüsyonlarını kanal boşluğuna iletmek için doğrudan kullanılmaz. Kanal duvarlarının debridmanı veya kök kanalının dezenfeksiyonu için tasarlanmış ek materyallerdir. Kanal boşluğunda bulunan irrigasyon solüsyonunun ajitasyonu ile dolaylı olarak da dahil olabilirler (115).

Fırça kaplı iğne, fırçanın verimliliğini arttırmak için irrigasyon işlemi sırasında aktif bir ovma eylemiyle mekanik olarak etkinleştirilirse sonuçlar iyileştirilmiş olabilir (116). Bununla birlikte, fırça kılları ile kanal düzensizlikleri arasında oluşan sürtünme, kanallardaki radyolusent kılların yerinden çıkmasına neden olabilir ve bu durum cerrahi bir mikroskop kullanılmasıyla bile klinisyenler tarafından kolayca fark edilmeyebilir.

2.3.3. Manuel dinamik aktivasyon

Kök kanalının içine yerleştirilen sıvı, kök kanalın içinde ajite edilirse çatlaklara ve mekanik olarak el değmemiş alanlara daha etkili bir şekilde ulaşır. İrrigasyon iğnesinin korono-apikal hareketler, küçük endodontik aletlerle karıştırma (*stirring*) hareketi ve uygun bir ana gutta-perka kon kullanılarak manuel itme-çekme hareketleri önerilmiştir (117,118). Araştırmalar, iyi yerleştirilmiş bir gutta perka ana konunu kısa bir süre içinde 2 ila 3 mm darbeli hareketlerle (manuel dinamik irrigasyon) hafifçe hareket ettirmenin, etkili bir hidrodinamik etki üretebileceğini ve herhangi bir ajanın yer değiştirmesini önemli ölçüde geliştirebileceğini göstermiştir (119).

2.3.4. Döner fırçalar

Döner başlıklı mikro fırça, Ruddle tarafından enstrümanlı kök kanallarından debris ve smear tabakasının çıkarılmasını kolaylaştırmak için kullanılmıştır (120). Fırça bir shaft ve konik bir fırça bölümü içerir. İkincisi, merkezi bir tel çekirdeğinden radyal olarak uzanan çoklu kıllara sahiptir. Debridman fazı sırasında, mikro fırça yaklaşık 300 rpm'de döner, bu da kılların kanallardaki düzensizlikleri deforme etmesini ve rezidüel debrisin koronal yönde kanaldan çıkarılmasını sağlar. Bununla birlikte, patent 2001'de onaylandığından beri bu ürün ticari olarak mevcut değildir.

CanalBrush (Coltene Whaledent, Langenau, Almanya) yakın zamanda ticari olarak piyasaya sürülen bir endodontik mikro fırçadır. Bu son derece esnek mikro fırça tamamen polipropilenden kalıplanmıştır ve döner bir hareketle manuel olarak kullanılabilir. Bununla birlikte, 600 rpm'de çalışan bir angldruvaya takıldığında daha etkilidir (115). Weise ve arkadaşlarının (121) yakın tarihli bir raporu, küçük ve esnek CanalBrush'ın irrigasyon solüsyonları ile birlikte kullanımının debris kanalları ve düzensizliklerinden etkili bir şekilde çıkardığını göstermiştir.

2.3.5. Sürekli irrigasyon altındaki döner alet sistemleri

Quantec-E irrigasyon sistemi (SybronEndo, Orange, CA), Quantec-E Endo Sistemine bağlı bir sıvı dağıtım ünitesidir. Döner enstrümantasyon sırasında sürekli irrigasyon sağlamak için bir pompa konsolu, 2 irrigasyon materyali rezervuarı ve boru sistemi kullanır (122). İdeal olarak, aktif döner enstrümantasyon sırasında sürekli irrigasyon ajitasyonu, artmış irrigasyon solüsyonu hacmi oluşturacak, irrigant materyalle temas süresini artıracak ve kök kanalında daha fazla irrigant penetrasyon derinliği sağlayacaktır (115). Bu şekilde, şırınga iğnesi irrigasyonuna kıyasla daha etkili kanal debridmanı sağlamalıdır. Ancak bu spekülasyonlar Setlock ve arkadaşlarının (123) çalışmaları tarafından desteklenmemiştir. İğne irrigasyonu ile karşılaştırıldığında, Quantec-E irrigasyonu kanal duvarlarının daha temiz olması ve kanal duvarlarının koronal üçte birinde daha fazla debris ve smear tabakasının çıkarılmasıyla sonuçlanmıştır. Ancak, bu avantajlar kök kanalının orta ve apikal üçte birinde görülmemiştir. Bu ayrıca, standart şırınga iğnesi irrigasyonu ile Quantec-E pompası ile irrigasyon arasında anlamlı bir fark bulunmadığını tespit eden Walters ve ark. (122) tarafından da doğrulanmıştır.

2.3.6. Sonik irrigasyon

EndoActivator Sistemi, endodontik tedavi sırasında irrigasyon sıvılarını hızlı ve kuvvetli bir şekilde ajite etmek için kullanımı kolay bir *sub-sonik* ($f < 16-20$ Hz) el aletine takılmış güvenli, kesici olmayan polimer uçlar kullanır (45). Bir çalışmada, çeşitli intrakanal irrigasyon sistemlerinin güvenliği, irrigan solüsyonunun apikal ekstrüzyonu ölçülerek analiz edilmiştir. Yazarlar, EndoActivator'un manuel, ultrasonik ve Rinsendo (Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen, Almanya) gruplarına

kıyasla apekten ekstrüde edilmiş irrigasyon solüsyonu miktarının istatistiksel olarak önemsiz miktarda olduğu sonucuna varmışlardır (124).

Kök kanal duvarlarının temizliği incelendiğinde, 421 araştırmacı, hem pasif sonik hem de ultrasonik irrigasyonun, kök kanallarını manuel şırınga irrigasyonuna kıyasla manuel preparasyondan önemli ölçüde daha temiz hale getirdiğini öne sürmüştür. Sonik ile ultrasonik irrigasyon sistemleri karşılaştırıldığında, sonuçlar tartışmalı olabilir (45). Çalışmaların çoğu ultrasonik irrigasyon faydalarını ortaya koymaktadır. Bu iki sistem arasındaki fark salınım hareketlerinde yatmaktadır: sonik cihazlar 1500 Hz ila 6000 Hz arasında değişmektedir ve ultrasonik ekipman 20.000 Hz'den daha fazla titreşim gerektirir (124,125).

Sonik cihazlar daha uzun süre kanalda kalırsa zamanla daha iyi temizleme etkileri bulunabilir. Sonik veya ultrasonik irrigasyon, aktive edilmiş yumuşak teller veya plastik ekler, endodontik aletler veya aktive edilmiş irrigasyon iğneleri ile gerçekleştirilebilir. Örnekler arasında EndoSonor (Dentsply Maillefer) ve EndoSoft ESI (EMS Elektro Tıbbi Sistemler, Nyon, İsviçre) uçlar, IrriSafe (Acteon Satelec), EndoActivator Sistemi (Dentsply Tulsa Dental Specialties) ve Vibringe sonik şırınga (Vibringe BV, Amsterdam, Hollanda) bulunmaktadır. Aletlerin sonik aktivasyonu ile kök kanal duvarlarında istenmeyen kavitasyon gözlenmemiştir (126).

2.3.7. Pasif ultrasonik irrigasyon

Pasif ultrasonik irrigasyon (PUI), akustik enerjinin düzgün bir telden veya bir eğden, kök kanal boşluğundaki irrigasyon solüsyonuna bir ultrasonik dalga vasıtasıyla iletilmesine dayanan, kesme işleminin gerçekleşmediği bir irrigasyon protokolüdür (127). Pasif ultrasonik irrigasyon ilk olarak Weller ve meslektaşları tarafından tanımlanmıştır (128). Pasif terimi, ultrasonik olarak aktive edilmiş eğenin kesmeme hareketiyle ilgilidir (129).

Bu irrigasyon tekniği iki fiziksel olguyu indükler: irrigasyon çözeltisinin buhar kilidini bozan akışı ve kavitasyonu. PUI sırasında, kanalı şekillendirdikten sonra kök kanalın ortasına küçük bir eğe veya düz tel (örneğin, 15 numara) yerleştirilir ve bu eğe veya tel ultrasonik olarak etkinleştirildiğinde, “akustik akış” meydana gelir. Akustik akış, sıvının titreşimli eğenin etrafında dairesel veya girdap

şeklinde hızlı hareketidir. Ultrasonik enerji ile pasif olarak etkinleştirilen cihaz tarafından oluşturulan bu akustik akış, hidrodinamik kesme gücü aracılığıyla kanal içindeki irrigasyon solüsyonunun temizleme etkisini artırır.

Kavitasyon, buhar kabarcıklarının oluşturulması veya bir sıvı içinde önceden var olan kabarcıkların genişlemesi, daralması ve/veya bozulmasıdır. Geçici kavitasyon, yalnızca eğer kanalda serbestçe titreşebildiğinde veya eğer kanal duvarlarına hafifçe dokunduğunda meydana gelir. Kök kanalı zaten şekillendirildiğinde, eğer veya tel serbestçe hareket edebilir ve irrigasyon solüsyonu, kök kanal sisteminin apikal kısmına daha kolay nüfuz edebilir ve temizleme etkisi daha güçlü olacaktır (127).

Literatürde iki tip ultrasonik irrigasyon tanımlanmıştır: biri irrigasyonun ultrasonik enstrümantasyon ile aynı anda yapıldığı tipiyken (UI) ve diğeri pasif ultrasonik irrigasyon (PUI) adı verilen aynı anda enstrümantasyon yapılmayan tipidir. UI sırasında, eğer kasten kök kanal duvarı ile temas ettirilir. Ancak karmaşık kanal anatomisi nedeniyle, UI hiçbir zaman tüm duvarla temas etmeyecektir ve etkili bir dezenfeksiyon olmadan kök kanal duvarlarının kontrolsüz kesilmesine neden olabilir (45). PUI, kök kanallarının nihai temizliği sürecinde (125), özellikle anatomik olarak zor alanlardan (130), debris, mikroorganizma ve smear tabakalarının kaldırılmasında irrigasyon solüsyonlarının verimliliğini arttıran mükemmel bir yardımcı olarak tanımlanmıştır.

2.3.8. Basınç değiştiren cihazlar

Konvansiyonel şırınga irrigasyonu ile ilişkili görünüşte 2 problem mevcuttur. Irrigasyon materyalinin debris ve smear tabakasını etkili çıkarması için kanal duvarları ile doğrudan temas halinde olması arzu edilir. Bununla birlikte, iğne uçları kanalların apikal ucundan çok uzağa yerleştirildiğinde, irrigasyon solüsyonunun hava sıkışması (46) nedeniyle kanalların apikal bölümlerine ulaşması zordur. Tersine, iğne uçları apikal foramenlere çok yakın yerleştirilirse, foramenlerden periapikal dokulara irrigasyon solüsyonu ekstrüzyonu ve ciddi iyatrojenik hasar olasılığı artar (131). Basınç değiştirme cihazlarının kullanımı ile eşzamanlı irrigasyon solüsyonu iletimi ve aspirasyon bu soruna makul bir çözüm sağlar.

EndoVac sistemi (EndoVac, Discus Dental), ana özelliklerinden biri güvenlik olan, ticari olarak temin edilebilir bir sistemdir ve kanal dezenfeksiyonunda değerli bir yardımcı olabilir (132). Birçok çalışma EndoVac'ın irrigasyon solüsyonunu apeksten taşırmayacağını kanıtlamıştır. Öte yandan, irrigasyon solüsyonu koronal bölgede biriktiği için, kanalın apikal son milimetresindeki irrigant solüsyon akışı çok pasiftir ve apikal bölgede akışın laminar ve pasif olduğu konusunda bazı endişeler dile getirilmiştir. Bir çalışmada, apikal negatif basınç irrigasyon modu, en düşük duvar makaslama gerilimini (wall shear stress) üretmiştir (112).

Basınç değişimi teknolojisi kullanan bir diğer cihaz da RinsEndo sistemidir (Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen, Almanya). Kanala verilmiş olan irrigasyon solüsyonunu çalışma uzunluğuna yakın bir yere yerleştirilmiş bir irrigasyon iğnesi ile aspire eder ve aynı zamanda iğneyi 1.6 Hz genlikteki salınımlarla aktive eder (112).

2.4. Kök Kanallarının Dezenfeksiyonunda Kullanılan Yeni Teknolojiler

Geleneksel irrigasyon dışında, lazer sistemleri, aPDT (Antimikrobiyal Fotodinamik Tedavi), gazlı ozon, elektrokimyasal olarak aktive su, sonik ve ultrasonik irrigasyon dahil olmak üzere endodontik dezenfeksiyon için ek teknikler önerilmiş ve test edilmiştir. Endodontik irrigasyon veya dezenfeksiyon için EndoActivator Sistemi (Dentsply Tulsa Dental Specialties), pasif ultrasonik irrigasyon (PUI), EndoVac (Discus Dental Inc., Culver City, CA), Safety-Irrigator (Vista Dental Products) , Racine, WI), Self Adjusting File, PIPS gibi; basınç, vakum, salınım veya aspirasyonun bir kombinasyonu olan yeni sistemler kullanılmaya başlanmıştır.

2.4.1. aPDT (Antimikrobiyal fotodinamik tedavi)

Fotodinamik terapi (PDT) veya ışıkla aktive edilen terapi (LAT), antimikrobiyal etkinliği nedeniyle endodontik uygulamalarda kullanılmaktadır (32). Prensipte olarak, antimikrobiyal fotodinamik terapi (aPDT), duyarlılaştırılmış dokunun bir fotosensitizerin (adım 1: enfekte olmuş dokunun ışığa duyarlı hale getirilmesi) ve ardından ışık aydınlatmasının (adım 2: ışığa duyarlı dokunun ışınlaması)

uygulanmasını içeren iki aşamalı bir prosedürdür. Bu da hedef hücre üzerinde toksik bir fotokimya oluşturarak hücre lizisine yol açar (45).

2.4.2. Lazerle aktive edilmiş irrigasyon

Lazerler diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılmaktadır ve hem uzak hem de kızılötesi elektromanyetik spektrumda radyasyon üreten diyot, Nd: YAG, erbium ve CO₂ lazerleri içerir. Irrigant materyallerin etkinliğini arttırmak için lazer cihazları önerilmiştir (115). Lazerler kök kanallarını temizleme ve etkin bir şekilde dezenfekte etme yetenekleri nedeniyle incelenmiştir. İn vivo ve ex vivo çeşitli çalışmalar, lazerle aktive edilen irrigasyonun, smear tabakasını (133) ve dentin kalıntılarını (134,135) PUI'den daha kısa sürede çıkarılması için umut verici olduğunu göstermiştir.

Son yıllarda literatürde Foton Kaynaklı Fotoakustik Akışı (PIPS) adı verilen erbium lazer kullanan yeni bir teknik bulunmaktadır. Bu teknikte, lazer ucu sadece pulpa odasının koronal açıklığına yerleştirilir ve kanalın ağzına ilerlemeden sabit tutulur. Özel olarak minimal ablatif lazer ayarlarına sahip yeni tasarlanmış konik ve soyulmuş bir ucun kullanılması düşük enerji (20 mJ), 15 Hz darbe tekrarlama oranı ve çok kısa darbe süresi (50 µs) ile sonuçlanır (136).

2.4.3. Süperoksitlenmiş / elektrokimyasal olarak aktive su

Elektrokimyasal olarak aktif su veya oksidatif potansiyel su olarak da adlandırılan süperoksitlenmiş su; süperoksitlenmiş su, hipokloröz asit ve serbest klor radikallerini oluşturmak için elektrolize edilmiş etkili bir tuzdur (137,138). Ticari olarak Sterilox (Sterilox Technologies, Radnor, PA) olarak temin edilebilir. Bu çözelti biyolojik dokular için toksik değildir, ancak mikroorganizmaları öldürebilir. Bu tür solüsyonlar, dental ünit su hatlarındaki biyofilmlerin giderilmesi için uygun olarak önerilmiştir ve hatta bu amaçla pazarlanmaktadır (139).

Çözelti, NaOCl'nin ticari üretiminde kullanılan farklı olmayan bir işlem olan salin çözeltisinin elektrolizlenmesi ile üretilir. Süperoksitlenmiş su kullanımı endodontik literatürde nadir olarak tarif edilmiştir, ancak sonuçlar umut verici bulunmuştur. Her iki teknolojiye elde edilen solüsyonlar, kök kanallarını debride

etme, smear tabakasını kaldırma ve bakterileri ve bakteri sporlarını öldürme için test edilmiştir. Sonuçlar elverişlidir ve vital sistemlerle biyouyumluluk gösterir (140).

2.4.4. Nanopartiküller

Nanopartiküller (NP), 1 ila 100 nm aralığında bir veya daha fazla boyuta sahip mikroskopik parçacıklardır. Nanopartiküller, ultra küçük boyutları, büyük yüzey alan-kütle oranı ve artan kimyasal reaktivite gibi gelişmiş ve benzersiz fizikokimyasal özellikleri nedeniyle antibakteriyel tedavilerde umut vaat etmektedir (141). Antibakteriyel nanopartiküllerin, geniş bir antimikrobiyal aktivite spektrumuna ve mikrobiyal direnci indüklemeye eğiliminin antibiyotiklere göre çok daha düşük olduğu bulunmuştur (45).

Nanopartiküller diş enfeksiyonlarını tedavi etmek ve önlemek için yeni bir strateji sağlayabilir. Geniş yüzey alanı ve NP'lerin yüksek yük yoğunluğu, bakteri hücrelerinin negatif yüklü yüzeyi ile daha fazla etkileşime girmelerini sağlayarak antimikrobiyal aktivitenin artmasını sağlar (142). Ayrıca, polimerlerle birleştirilmiş veya biyomalzeme yüzeyleri üzerine kaplanmış NP'lerin ağız boşluğunda üstün antimikrobiyal özellikler sergilediği bulunmuştur (141). Endodontide bu tür nanopartiküller, irrigant materyaller, ışığa duyarlılaştırıcılar (fotosensitizerler) ve patlar ile karıştırılmış farklı formlarda incelenmektedir.

2.4.5. Gentlewave

Sonendo Inc. , yalnızca pulpa odasına erişimin yeterli olduğu bir multisonik temizleme teknolojisi (Gentle Wave) geliştirmektedir. Bu sistem enstrümantasyon gerektirmez ve şirkete göre umut verici sonuçlar ile klinik olarak test edilmektedir. Diğer sistemlere göre çok daha temiz bir yüzeye sahip erişilemez kanal alanlarına ulaşma potansiyeline sahip olduğu öne sürülmektedir. İlk *in vitro* çalışma, sistemin geleneksel şırınga irrigasyonu veya ultrasonik olarak aktif irrigasyondan daha iyi debris uzaklaştırma potansiyelini göstermektedir (143).

2.5. Fotodinamik Terapi (PDT)

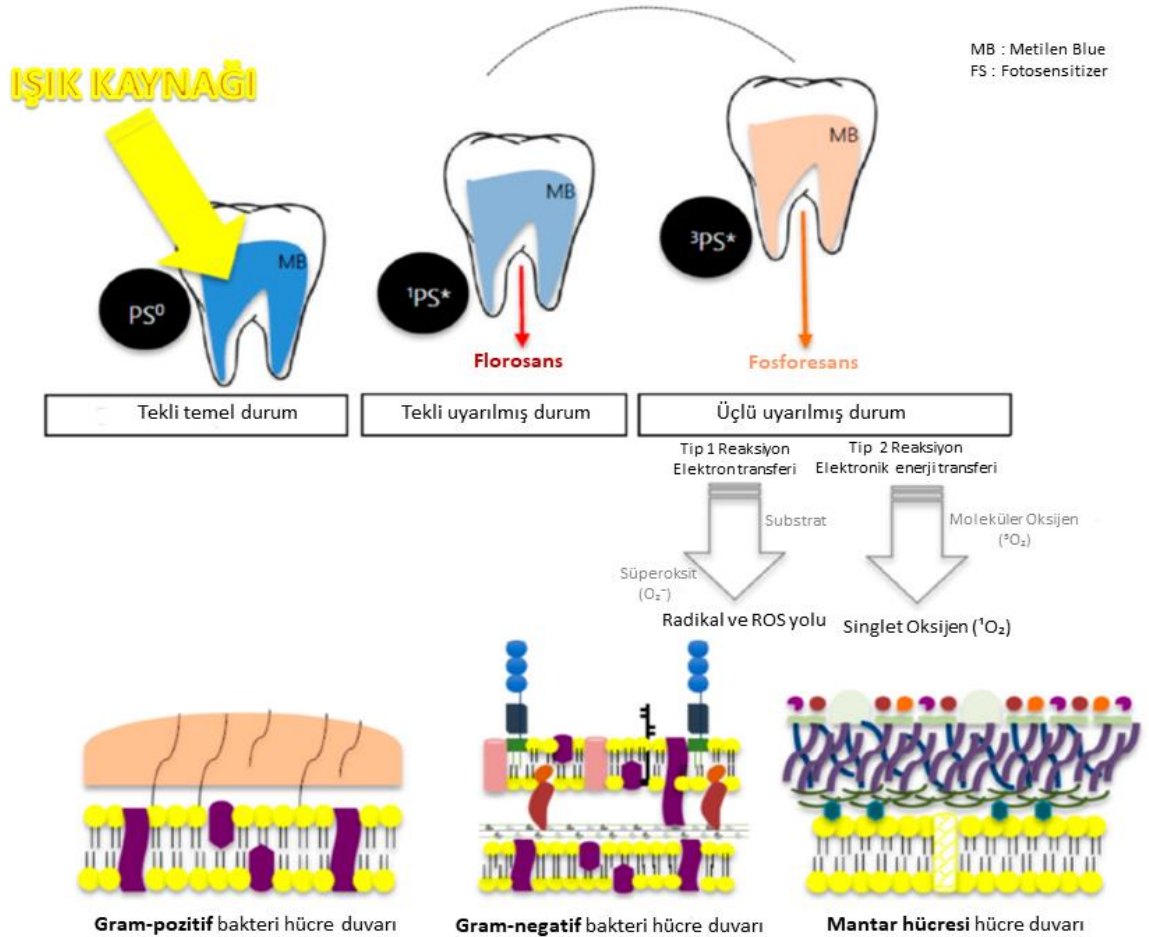
Endodontik tedavide lazer kullanımı, antimikrobiyal fotodinamik tedavi (aPDT) ile daha da geliştirilmiştir ve ek bir alternatif olarak benimsenmiştir. Bu teknikte, kök kanalının içine uygulanan bir fotosensitizer (FS), bir ışık kaynağı tarafından fotosensitizerin maksimum emme bandına denk gelen dalga boyunda ışınlanır. Oksijen varlığında, mikrobiyal hücre hasarına yol açan bir süreç olan reaktif oksijen türlerinin (ROS) ve singlet oksijen ($^1O_2$) üretimine yol açan bir reaksiyon gerçekleşir (144). Bu tekniğin faydaları, etkilenen mikroorganizmaların geniş spektrumu, çoklu uygulamalardan sonra ışına dayanıklı türlerin bulunmaması ve konakçı dokuya minimum hasar vermesidir (145). FS boyaların lazerle aktive edilme öncesi hastalıklı dokuda bekletilme süresine inkübasyon süresi denir. Bu yaklaşımın seçiciliği boyaların inkübasyon süresine bağlıdır: mikroorganizmalar dakikalarca inkübasyon süresi gerektirirken konak hücrelerine zarar verilebilmesi için saatler gerekmektedir (146). Bununla birlikte, enfekte olmuş kök kanal sisteminin içinde mevcut hücreler sadece mikroorganizmalardır. Çoğu araştırma ışık kaynakları olarak sırasıyla 660, 635 ve 810 nm dalga boylarına sahip lazerler ve FS olarak metilen mavisi (MB), toluidin mavisi (TBO) ve indosiyanin yeşili (ICG) ile gerçekleştirilmiştir (145). Uygulama sırasında kanal içi bir fiberin kullanılması, kök kanalı boyunca ışık dağılımının homojenliğini artırabilir, bu da ışıkla aktive edilen dezenfeksiyonun verimliliğinde bir iyileşme ile sonuçlanır.

2.5.1. Fotodinamik terapinin mekanizması

Fotodinamik terapi, iki aşamada gerçekleştirilen bir tedavidir; bir fotosensitizer bileşik hedef dokulara uygulanır ve dokularda tutulur (33) ve daha sonra bu bileşik, doğrudan hedefe yönlendirilebilen veya iç bölgelere ulaşmak için yönlendirilebilen bir ışık cihazı vasıtasıyla uyarıcı olan uygun bir dalga boyunda görünür ışığa maruz bırakılarak aktive edilir. Işınlama üzerine FS, tekli düşük enerji seviyeli "temel durum"dan daha yüksek enerjili bir "üçlü durum"a geçiş yapar (Şekil 2.1) (147).

Oksijen gibi bir substrat varlığında, fotosensitizer bileşiğin üçlü duruma aktivasyonunun biyomoleküllerle kimyasal reaksiyonlara girebileceği iki mekanizma

vardır. Tip I reaksiyonlar hidrojen veya elektron aktarımı ile serbest radikallerin oluşumuna yol açar. Bu reaktif türler, oksijen ile etkileştikten sonra, hücresel hedeflere saldıran peroksit veya süperoksit anyonları gibi oldukça reaktif oksijen türleri üretebilirler (148,149). Tip I reaksiyonlar serbest radikallerin etkisiyle doğrudan hücresel hasara neden olabilir (150). Tip II mekanizmalarda, tekli oksijen olarak adlandırılan, elektronik olarak uyarılmış ve oldukça reaktif bir oksijen durumu salınır (Şekil 2.1.). Tip II reaksiyonlara tekli oksijen türleri ($^3O_2$, $^1O_2$) aracılık ettiğinden, bu durum mikrobiyal hücre yıkımında ana yol olarak kabul edilir (34,151). Bununla birlikte, iki reaksiyon mekanizması arasında ayırım yapmak zordur. Hem tip I hem de tip II süreçlerinden gelen bir katkı, hasar mekanizmasının hem oksijen gerilimine hem de FS konsantrasyonuna bağlı olduğunu gösterir (34).



Şekil 2.1. PDT'nin fotokimyasal mekanizması (146)

Bu moleküllerin tedavi edilecek bölgede bulunması, hedef hücrelerin potansiyel hasarına yol açan oksidatif bir strese neden olur (152). Bu sitotoksik türlerin bakterisidal etkisi iki ana yola atfedilir: hücresel plazma zarının zarar görmesi ve/veya hücre DNA'sının zarar görmesi. Her iki sonuç da hücre ölümüyle sonuçlanır (29,153–155). Hücrelere zarar verme, yalnızca reaktif oksijen sitotoksik türlerinin hücrenin biyokimyasal savunmasını baskılaması (152), böylece plazma membranları ve DNA gibi hücresel bileşenlerin oksidasyonuna neden olması ve hücre ölümüyle sonuçlanması durumunda ortaya çıkar (34). Klinik olarak, bu reaksiyon sitotoksik ve vaskülotoksiktir (153,156–158).

PDT'nin neden olduğu bir başka hasar türü, PDT tarafından üretilen sitotoksik türlerin bakteri sitoplazmik membranına zarar vererek, membran taşıma sisteminin inaktivasyonu, plazma membran enzim aktivitelerinin inhibisyonu, lipid peroksidasyonu gibi olaylara yol açmasıdır. Bakteri, mantar, virüs ve protozoa gibi mikroorganizmalar tekli oksijen türleri tarafından öldürülebilir. Yaygın herpes simpleks enfeksiyonları PDT ile başarılı bir şekilde tedavi edilebilir (155).

2.5.2. Fotosensitizerler ve ışık kaynakları

Binlerce doğal ve sentetik fotoaktif bileşik, ışığa duyarlı hale getirme potansiyeline sahiptir. Bununla birlikte, mikroorganizmaları ortadan kaldırmak için, en çok çalışılan FS'ler halojenlenmiş ksantenler, fenotiyazinler, akridinler ve konjüge klorin gruplarına aittir (156). İdeal bir fotosensitizer için aranan özellikler şunlardır:

- Toksisite ve toksik yan ürünlerin olmaması,
- Mutajenik etkinin olmaması,
- Hedef dokuda seçici birikim,
- Topikal uygulamaya uygunluk,
- Düşük maliyet,
- Kısa yarı ömür,
- Sağlıklı dokudan hızlı eliminasyon,
- Temel haldeki oksijene (*ground state oxygen*) verimli enerji aktarımı sağlamak için uygun enerjinin üçlü hali,

○ Üçlü durumun yüksek kuantum verimi ve uzun üçlü durum ömürleri, ve yüksek fotostabilite (159–161).

PDT'de kullanılan başlıca FS grupları: hematoporfirin türevleri (620-650 nm), fenotiyazinler (620- 700 nm), siyanin (600-805 nm), fitoterapik maddeler (550-700 nm), ftalosiyeninler (660-700 nm) ve klorinlerdir (150,162–164).

PDT'de en çok çalışılan ve kullanılan boyalar, çeşitli konsantrasyonlarda fenotiazinler (sentetik porfirin bileşikleri) olan metilen mavisi (MB) ve Toluidin mavisi O (TBO, tolonyum klorür) 'dir (165). Yüzyıllardır tıpta gıda pigmenti ve baharat olarak kullanılan zerdeçal tozunun ana bileşeni olan kurkumin, son zamanlarda diş hekimliğinde PDT için FS olarak kullanılmıştır (166–168).

Çalışmalar MB için maksimum emilim dalga boyunun 660 nm olduğunu (169,170), TBO için 630 nm olduğunu göstermiştir (171). MB ve TBO benzer bakterisidal etkilere sahiptir ve hem gram pozitif hem de gram negatif bakterileri (165), örneğin *Enterococcus faecalis*'i etkisiz hale getirebilir (39,172–176). Bazı çalışmalarda, genel olarak, boyalar ya daha hidrofilik ya da hidrofobik bir karaktere sahip olabilmekte ya da amfifilik olabilmektedir. Endodontik enfeksiyonlarda gram-pozitif ve gram-negatif bakteriler olduğu düşünüldüğünde, MB ve TBO (hem hidrofobik hem de hidrofilik) gibi amfifilik FS'ler, endodontide PDT için en uygun gibi görünmektedir (177–179).

PDT ışık kaynakları için temel gereksinim, FS'nin aktivasyon spektrumuna (elektronik absorpsiyon spektrumu) (genellikle en uzun dalga boyu zirvesi) uymaları ve bu dalga boyunda yeterli ışık gücü üretmeleridir (180).

Şu anda, PDT'de en çok, belirli dalga boylarındaki (630 ila 800 nanometre arasında) ışık kaynakları olan; helyum-neon lazerler (633 nm), galyum-alüminyum-arsenit diyot lazerler (630-690, 830 veya 906 nm) ve argon lazerler (488-514 nm) kullanılmaktadır. Bu kaynakların dalga boyları görünür ışıktan argon lazerlerinin mavisine veya helyum-neon ve galyum alüminyum-arsenit lazerlerinin kırmızısından bazı diyot lazerlerinin kızılötesi alanına kadar uzanmaktadır (181). Düşük güçlü lazerler PDT için en çok kullanılanlar olmasına rağmen, Nagai ve ark. (182), yüksek

güçlü bir lazerin (940 nm dalga boyuna sahip bir GaAlAs / InGaAsP diyot lazeri) yeni bir FS, azulenosiyanin (Azc) ile kombinasyonunu önermiştir.

Literatür klinik PDT ışık kaynaklarının üç ana sınıfını tanımlamaktadır: lazerler, ışık yayan diyotlar (LED) ve halojen lambalar (165,183). Bunlar arasında, kullanımı kolay, daha ucuz ve daha taşınabilir olan diyot lazerler (184) PDT'de tercih edilen ışık kaynağı haline gelmiştir. PDT'de kullanılan lazer ışığının çeşitli avantajları vardır, yani, uygun miktarda ışık, tek renkli, yüksek verimlilik, yüksek potens ve interstisyel ışık dağıtımı cihazları sunmak için bir fiber optik yoluyla yönlendirilebilir; ancak yüksek bir maliyeti vardır (165).

Genel olarak, uygun bir FS'nin seçimi, hedef bakterinin türlerini dikkate alınmalıdır. Hedef bakteriler gram-pozitif ise, hem katyonik hem de anyonik boyalar kullanılabilir; gram-negatif ise katyonik boyalar daha etkilidir (165).

Genel olarak, gram-negatif türler PDT'de yaygın olarak kullanılan bazı FS'lere önemli ölçüde dirençlidir, oysa daha duyarlı olan gram-pozitif türlere karşı etkili PDT sonuçları elde edilmiştir; çünkü gram-pozitif türlerin sitoplazmik zarı dışındaki nispeten gözenekli peptidoglikan ve lipoteikoik asit tabakası, FS'nin hassas bölgelere yayılmasını sağlar (34,185)

2.5.3. PDT'nin diş hekimliği ve endodontide kullanımı

Ağız diş ve çene cerrahisi ve periodontolojide, antimikrobiyal PDT, düşük yoğunluklu lazer ışığı ile birlikte FS kullanımı ile singlet oksijen moleküllerinin bakterileri yok etmesini sağlar, ayrıca alveolar osteit, çekim sonrası ağrı, periimplantitis (186,187) ve lokalize mikrobiyal periodontal enfeksiyonlar (163,188–193) için bir tedavi alternatifidir. Bakteriler tamamen ortadan kaldırılmamasına rağmen PDT, önemli bir bakteriyel azalma sağlamıştır (194).

Son yıllarda, PDT ve farklı fotosensitizer boyalarla birlikte farklı dalga boylarında lazerlerin veya LED'lerin kullanımı, diş plağını uzaklaştırmak (195,196) için ve dental çürüğün etiyolojik faktörlerine karşı (165) alternatif bir tedavi olarak incelenmiştir.

Fotodinamik yaklaşım ayrıca *in vitro* ve *in vivo* kök kanallarındaki mikroorganizmaları öldürmek için kullanılmıştır (197). PDT, periapikal lezyonların klinik tedavisi için (198), özellikle tek seans endodontik tedavi veya retreatment tedavisi gören dişler için (199–201) standart antimikrobiyal intrakanal temizleme ve şekillendirmede umut verici etkili bir tamamlayıcı olarak önerilmiştir. Çünkü çekilmiş dişlerin deneysel olarak enfekte olmuş kök kanallarındaki fotodinamik etkiler, PDT parametreleri optimize edildiğinde koloni oluşturan birim sayısında %99'a varan bir azalmaya yol açmıştır (197,202).

2.5.4. PDT'nin limitasyonları ve dişlerde renk analizi

PDT uygulamasının önemli avantajları olmasına rağmen, potansiyel olumsuz olaylar bildirilmiştir. Diş boyama ve renk değişikliği, fotosensitizer olarak metilen mavisi (MB) kullanıldığında kök kanal tedavisinde PDT kullanımını izleyen olumsuz bir etki olabilir. Figueiredo ve ark.'na göre (203), 10 dakikalık ışınlama öncesi süresi, 5 dakikalık bir ışınlama öncesi süresi ile karşılaştırıldığında, diş yapısında daha şiddetli renk değişikliğine neden olmuştur. Daha uzun süre, FS'lerin dentin içine daha derine ve mine-dentin sınırına daha yakın bir şekilde nüfuz etmesine izin vererek renk değişikliğini daha belirgin hale getirmiştir. Birkaç kimyasal bileşiğin etkinliğini değerlendirerek bu dezavantajın üstesinden gelmek için bazı girişimlerde bulunulmuştur.

Diğer bir dezavantaj, FS'lerin dentin yüzeyine önemli ölçüde işleyen viskoz bir madde olmasıdır. Dentinal tübüllerin obliterasyonuna neden olan, mikrosızıntıya ve kök dolgu maddelerinin dentine bağlanma kuvvetinde bir azalmaya yol açabilen bir kimyasal smear tabakası oluşabilir (204). Bu nedenle, PDT'den sonra FS'in kök kanal duvarlarından etkili bir şekilde çıkarılmasını sağlamak için son bir irrigant kullanılmalıdır. Souza ve diğ. (205) ultrasonik kullanımın, %17 EDTA ve QMix'in PDT sonrası kök kanal duvarlarının servikal, orta ve apikal bölgelerinden FS çıkarma yeteneğini geliştirdiğini bildirmiştir.

Bir diğer endişe alanı PDT'nin potansiyel sitotoksitesidir. Potansiyel *in vivo* uygulamalar için PDT'nin güvenlik profilini araştırmayı amaçlayan *in vitro* ve *ex vivo* çalışmalar yapılmıştır (206,207). Yazarlar terapötik bir pencere altında PDT'nin

güvenli olduğu sonucuna varmışlardır. Diğer çalışmalar, kök kanal dezenfeksiyonu için kullanıldığında PDT sitotoksitesinin NaOCl ile karşılaştırıldığında daha az olduğunu bildirmiştir (167,206). Gomes-Filho ve diğ. (167), kurkuminli PDT'nin sitotoksik olmadığını ve fibroblast canlılığını engellemediğini bildirmiştir.

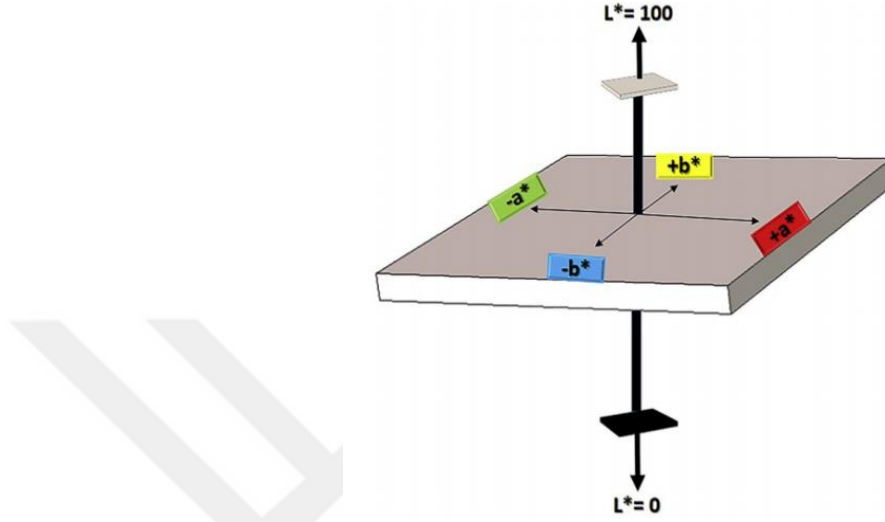
Kök kanallarının temizlenmesi ve şekillendirilmesi sırasında kullanılan %2,5 NaOCl'nin PDT sırasında MB uygulaması ile ilgili diş lekelemesini önlemede etkili olduğu sonucuna varılmıştır (208). Figueiredo ve ark. (203) ve Carvalho Edos ve diğ. (208)'nin sonuçlarına göre, %2,5 NaOCl ile birlikte kullanılan Endo-PTC krem (%10 üre peroksit, %15 Tween %80 ve %75 karboksam, farmasötik bileşik) bu boyayı etkili bir şekilde giderir.

Toluidin Mavisi (TB), Metilen Mavisi (MB) ve Malakit Yeşili (MG) gibi fenotiazin bazlı boyalar şu anda PDT'de en sık kullanılan fotosensitizerlerdir ve tedavilerde olumlu sonuçlar vermişlerdir (37,189,208–210). Bununla birlikte, bu FS'ler boya oldukları için diş yapısının rengini değiştirebilir, diş estetiğini tehlikeye atabilir (211).

Renk ölçüm cihazları ve sistemleri; görsel renk eşiklerinin değerlendirilmesi, görsel ve cihaz değerlendirmeleri arasında karşılaştırma, renk uyumu ve stabilitesi, diş beyazlatma çalışmaları ve insan dişlerinin ve restoratif materyallerin renk etkileşimleri gibi diş araştırmalarında giderek daha fazla kullanılmaktadır. Dişlerin rengini ölçmek için birçok yöntem bulunmaktadır ve renk skalaları kullanılarak yapılan görsel karşılaştırmalardan spektrofotometreler, kolorimetreler, spektrodensitometreler ve dijital görüntü analizi tekniklerini kullanan cihazlara kadar çeşitlilik gösterir.

Diş rengindeki varyasyonu ölçmek ve analiz etmek için çeşitli yöntemler arasında, yansıma spektrofotometrisi yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan spektrometre, renk değişikliklerini izlemek için CIE L * a * b * sistemine dayalı yöntemle dayanmaktadır. Bu sistemde, renkteki farklılıklar sayısal olarak ifade edilir ve bu görsel algı ve klinik önemle ilişkili olabilir (212). L değeri parlaklığı, a* ve b* değerleri doygunluğu temsil eder. ΔL, siyahtan (0) beyaza (100) parlaklıktaki değişimi, Δa kırmızıdan (-80) yeşile (+80) olan değişimi ve Δb, mavi

(-80) ile sarı (+80) parametresindeki değişimi temsil eder. Tüm değerler, renk değişikliğini ($\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$, ($\Delta L = L_1 - L_0$; $\Delta a = a_1 - a_0$, $\Delta b = b_1 - b_0$)) hesaplamak için kullanılır. Renk değişimi (ΔE), CIELAB renk uzayındaki iki uyarıcının koordinatları arasındaki Öklid mesafesi ile tanımlanır (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. Renk uzayının koordinatları. L * parlaklığı, a * kırmızı-yeşil renk miktarını ve b * sarı-mavi renk miktarını gösterir. ΔE ($L^* a^* b^*$) olarak hesaplanan diş renk değişikliği (213).

≥ 3.3 olan ΔE değerlerinin klinik olarak belirgin renk değişikliğine sahip olduğu kabul edilmektedir (214).

PDT'nin antibakteriyel etkinliği kapsamlı bir şekilde araştırılmış olmasına rağmen, çok az sayıda çalışma fotosensitizerlerin diş rengi değişimi üzerindeki etkisini görsel veya dijital görüntü metodolojileri kullanarak ele almıştır (208,209,215). Ayrıca literatürde var olan çalışmalarda, fotosensitizer boya uzaklaştırılmasında pasif ultrasonik irrigasyon (PUI) tekniğinin etkisi incelenmemiştir. Bu çalışmanın amacı fotosensitizer boyaların PDT'de kullanımı sonrası kullanılan irrigasyon solüsyonlarının, pasif ultrasonik irrigasyon sistemi (PUI) ile aktive edildiğinde dişlerdeki renklemenin azaltılıp azaltılamayacağını değerlendirmektir.

3. YÖNTEM VE GEREÇ

Çalışmanın etik kurul onayı Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Tıp Fakültesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulunun 04.08.2020 tarihli 2020/188 no'lu toplantısında alınmıştır. Araştırmada kullanılan örneklerin hazırlık, şekillendirme, irrigasyon ve renk ölçümü aşamaları Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı'nda gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın örneklem büyüklüğü %95 güç, etki boyutu 0.40 ve $\alpha=0.05$ olacak şekilde Power Analizi yapılarak örnek sayısı her grup için 14 olacak şekilde 13 grup için hesaplanmıştır. Çalışmada 182 diş kullanılmıştır.

3.1. Örnek Dişlerin Dahil Edilme ve Edilmeme Kriterleri

Dahil edilme kriterleri:

- Çürüksüz, kırıksız krona sahip,
- İntrensek ya da ekstrensek kaynaklı renklenme bulunmayan,
- Diş kronunda herhangi bir restorasyon bulundurmayan,
- Daha önce beyazlatma işlemi uygulanmamış,
- Daha önce kanal tedavisi uygulanmamış,
- Vita Klasik renk skalasına göre A2-A3,5 arası tona sahip,
- Tek köklü,
- Yeni çekilmiş üst santral ve lateral insan dişleri.

Dahil edilmeme kriterleri:

- Diş kronunda çürük, kırık varlığı,
- Dişte intrensek ya da ekstrensek kaynaklı renklenme varlığı,
- Hipoplazi ya da florozis gibi mine defektleri varlığı,
- Diş kronunda restorasyon varlığı,
- Daha önce sabit ortodontik aparey kullanılan dişler,
- Daha önce beyazlatma tedavisi uygulanmış,
- Daha önce kanal tedavisi uygulanmış,
- Vita Klasik renk skalasına göre A3,5'tan daha koyu, A2'den daha açık tonda dişler.

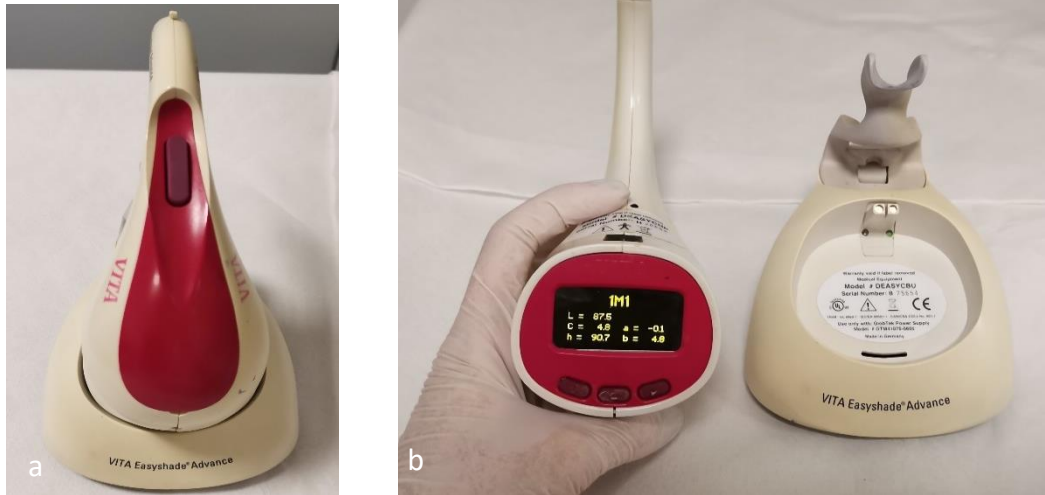
3.2. Kök Kanallarının Biyomekanik Preparasyonu

Dişlerin kök kanallarının preparasyonları X4 boyutuna kadar Protaper Next döner enstrümanlar (Dentsply, Maillefer, Switzerland) ile yapılmış, her eğe değişiminde irrigasyon için 2,5 mL % 2,5 NaOCl (Karatay, Konya, Türkiye) kullanılmıştır. Son irrigasyonda sırasıyla: % 2,5 NaOCl, % 17 EDTA (Promida, Eskişehir, Türkiye), % 2,5 NaOCl kullanılıp, sonrasında kanallar distile su (Eczacıbaşı, İstanbul, Türkiye) ile irriga edilmiştir.

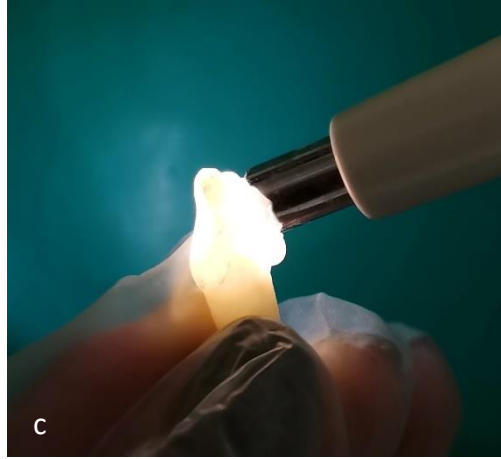
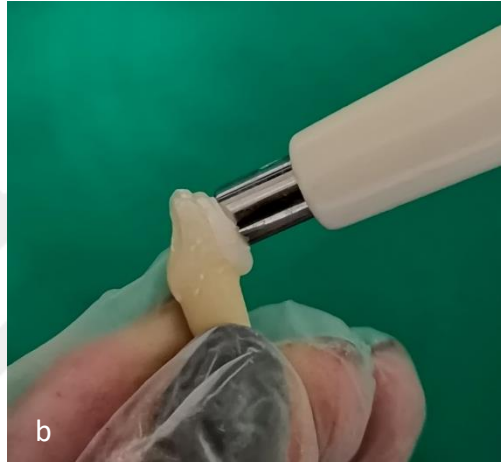
3.3. Deney ve Kontrol Gruplarının Oluşturulması ve T0 Renk Ölçümleri

Herhangi bir işlem uygulanmadan renk değişimi olup olmayacağının değerlendirilmesi için negatif kontrol grubu olarak rastgele 14 diş seçilmiştir (Grup 1). Diğer tüm dişler, MB, TB ve ICG grupları (n=56) olacak şekilde rastgele 3 ana gruba ayrılmış ve numaralandırılmıştır.

Preparasyon sonrası tüm dişlerin başlangıç renkleri, kronlarının her örneğin vestibüler yüzeyinin orta kısmına akışkan kompozitten yapılmış olan çerçeveye sabitlenen spektrofotometre (VITA Easyshade Advance 4.0, VITA Zahnfabrik, Bad Sackingen, Almanya) ile ölçülüp CIELAB sistemine göre başlangıç (PDT öncesi ölçüm: T0) L* a* b* değerleri kaydedilmiştir.



Şekil 3.1. a) VITA Easyshade Advance 4.0 spektrofotometre cihazı, b) Renk ölçümü sonrası cihaz ekranında L*, a* ve b* değerlerinin görüntülenmesi



Şekil 3.2. a) Renk ölçümü öncesi dişlerin bukkal yüzeylerine kompozit çerçeve yapılması b-c) Renk ölçümü için cihaz ucunun çerçeveye yerleştirilmesi ve ölçümün gerçekleştirilmesi

Negatif kontrol grubu olan Grup 1'e herhangi bir PDT uygulanmamış olup yalnızca T0, T1 ve T2 ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 3.3. İçinde distile su bulunan eppendorf tüplerine yerleştirilmiş örnekler (Grup 1)

Diğer 168 diş fotodinamik terapide kullanılan boyalara ve boyaları uzaklaştırma yöntemi ve solüsyonlarına göre 12 alt gruba rastgele ayrılmıştır:

- 2. Grup fotosensitizer olarak metilen blue (MB, 0,1 mg/mL) + serum fizyolojinin standart iğne irrigasyonu ile boya uzaklaştırılacak grup (**MB+SF+SNI**),
- 3. Grup toluidin blue (TB, 0,1 mg/mL) + serum fizyolojinin standart iğne irrigasyonu ile boya uzaklaştırılacak grup (**TB+SF+SNI**),
- 4. Grup indosiyanin green (ICG, 1 mg/mL) + serum fizyolojinin standart iğne irrigasyonu ile boya uzaklaştırılacak grup (**ICG+SF+SNI**),
- 5. Grup fotosensitizer olarak metilen blue (MB, 0,1 mg/mL) + serum fizyolojinin pasif ultrasonik irrigasyonla aktivasyonu ile boya uzaklaştırılacak grup (**MB+SF+PUI**),
- 6. Grup toluidin blue (TB, 0,1 mg/mL) + serum fizyolojinin pasif ultrasonik irrigasyonla aktivasyonu ile boya uzaklaştırılacak grup (**TB+SF+PUI**),
- 7. Grup indosiyanin green (ICG, 1 mg/mL) + serum fizyolojinin pasif ultrasonik irrigasyonla aktivasyonu ile boya uzaklaştırılacak grup (**ICG+SF+PUI**)
- 8. Grup fotosensitizer olarak metilen blue (MB, 0,1 mg/mL) +

NaOCl'nin standart iğne irrigasyonu ile boya uzaklaştırılacak grup (**MB+NaOCl+SNI**),

○ 9. Grup toluidin blue (TB, 0,1 mg/mL) + NaOCl'nin standart iğne irrigasyonu ile boya uzaklaştırılacak grup (**TB+NaOCl+SNI**),

○ 10. Grup indosiyanin green (ICG, 1 mg/mL) + NaOCl'nin standart iğne irrigasyonu ile boya uzaklaştırılacak grup (**ICG+NaOCl+SNI**).

○ 11. Grup fotosensitizer olarak metilen blue (MB, 0,1 mg/mL) + NaOCl'nin pasif ultrasonik irrigasyonla aktivasyonu ile boya uzaklaştırılacak grup (**MB+NaOCl+PUI**),

○ 12. Grup toluidin blue (TB, 0,1 mg/mL) + NaOCl'nin pasif ultrasonik irrigasyonla aktivasyonu ile boya uzaklaştırılacak grup (**TB+NaOCl+PUI**),

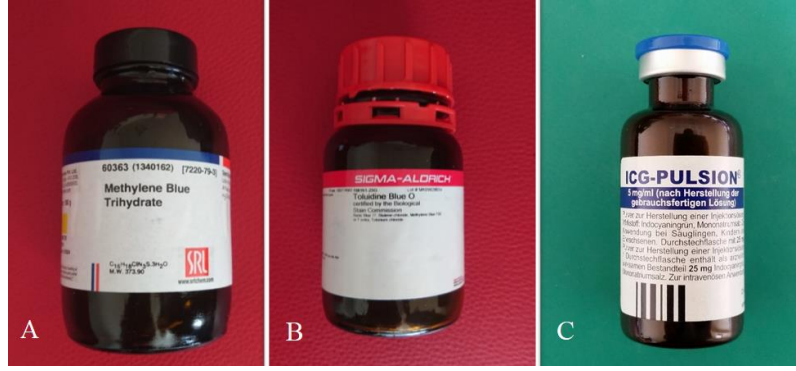
○ 13. Grup indosiyanin green (ICG, 1 mg/mL) + NaOCl'nin pasif ultrasonik irrigasyonla aktivasyonu ile boya uzaklaştırılacak grup (**ICG+NaOCl+PUI**).

Tablo 3.1. Çalışma gruplarının dağılımı

	MB	TB	ICG
SF/SNI	<i>Grup 2</i>	<i>Grup 3</i>	<i>Grup 4</i>
SF/PUI	<i>Grup 5</i>	<i>Grup 6</i>	<i>Grup 7</i>
NaOCl/SNI	<i>Grup 8</i>	<i>Grup 9</i>	<i>Grup 10</i>
NaOCl/PUI	<i>Grup 11</i>	<i>Grup 12</i>	<i>Grup 13</i>

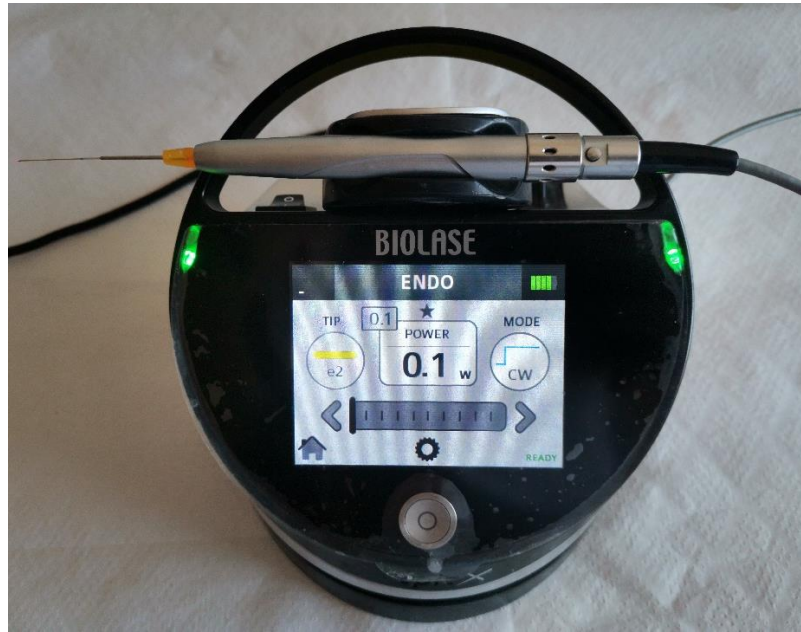
3.4. Fotosensitizer Boyaların Hazırlanması ve PDT uygulanması

Steril PBS içinde 0,1 mg/mL Metilen Mavisi, 0,1 mg/mL Toluidin Mavisi ve 1 mg/mL İndosiyanin Yeşili konsantrasyonları ile stok çözeltiler hazırlamak için toz formunda MB (Sisco Research Laboratories Pvt. Ltd, Maharashtra, India), TB (Sigma-Aldrich Corporation, Missouri, ABD) ve ICG (Pulsion Medical Systems SE, Feldkirchen, Germany) kullanılmıştır (Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. A: Metilen Mavisi (MB), B: Toluidin Mavisi (TB) ve C: İndosiyenin Yeşili (ICG)

Stok çözeltiler, kullanımdan önce 2 haftadan fazla olmamak üzere karanlıkta 4°C 'de saklanmıştır. Dişler son irrigasyon protokolü sonrası rastgele gruplara ayrılmalarından sonra bulundukları gruba ait fotoaktif boyalar (MB (0,1 mg/mL), TB (0,1 mg/mL) ve ICG (1 mg/mL) ile irrigate edilmiş ve boyalar kök kanalında ışınlama öncesi 2 dakika bekletilmiştir. Sonrasında 940 nm dalga boyunda lazer cihazı (BIOLASE Inc., Kaliforniya, ABD) kullanılarak (0.1 W x 60s ayarlarında), 200 µm çapındaki uç (BIOLASE Inc., Kaliforniya, ABD) ile çalışma boyundan 1 mm kısa olacak şekilde apikalden koronale ve koronalden apikale dairesel hareketlerle 1 dk boyunca fotodinamik terapi uygulanmıştır.



Şekil 3.5. a) Biolase diyet lazer cihazı (BIOLASE®, BIOLASE Inc., Kaliforniya, ABD)



Şekil 3.6. 200 µm çaplı endodontik fiber uç (BIOLASE® ezTips, BIOLASE Inc., Kaliforniya, ABD)

Dişlere fotosensitizer boya uygulanması sonrası 2 mL serum fizyolojik ile kök kanalları yıkanıp paper pointlerle (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) kurulandıktan sonra spektrofotometre ile CIELAB sistemine göre L* a* b* değerleri kaydedilmiştir (PDT uygulanması sonrası ölçüm: T1).

3.5. Boyaların Kök Kanallarından Uzaklaştırılması

Daha sonra fotosensitizer boyaların uzaklaştırılması için:

- **SF/SNI grubundaki dişler (Grup 2, 3, 4):** 5 mL serum fizyolojik ile konvansiyonel irrigasyon protokolü (SNI) ile (enjektörle aşağı yukarı hareketlerle 40 sn boyunca),
- **NaOCl/SNI grubundaki dişler (Grup 8, 9, 10):** 5 mL %5 NaOCl ile konvansiyonel irrigasyon protokolü (SNI) ile (enjektörle aşağı yukarı hareketlerle 40 sn boyunca),
- **SF/PUI grubundaki dişler (Grup 5, 6, 7):** 5 mL serum fizyolojinin, mümkün olduğunca kanalın ortasına yerleştirilmiş, ardından üreticinin talimatlarına göre 6 güç ayarında kullanılmış olan ultrasonik irrigasyon eğesiyle (Acteon IrriSafe Files, K25/21 mm, ACTEON North America, Inc.) aktivasyonu ile (20 sn bukkolingual 20 sn meziodistal yönde olmak üzere toplam 40 sn) çalışma boyundan 1 mm kısa olacak şekilde,

- **NaOCl/PUI grubundaki dişler (Grup 11, 12, 13):** 5 mL %5 NaOCl'nin, mümkün olduğunca kanalın ortasına yerleştirilmiş, ardından üreticinin talimatlarına göre 6 güç ayarında kullanılmış olan ultrasonik irrigasyon eğesiyle (Acteon IrriSafe Files, K25/21 mm, ACTEON North America, Inc.) aktivasyonu ile (20 sn bukkolingual 20 sn meziodistal yönde olmak üzere toplam 40 sn), çalışma boyundan 1 mm kısa olacak şekilde irriga edilmiştir.



Şekil 3.7. Acteon Newtron P5 XS BLED ultrasonik cihazı (ACTEON North America, Inc.)



Şekil 3.8. Pasif ultrasonik irrigasyon ucu (Acteon IrriSafe Files, K25/21 mm, ACTEON North America, Inc.)

3.6. Renk Analizi

Tüm ölçümler için, her örneğin bukkal yüzeyinin ortasında hazırlanmış olan akışkan kompozit çerçevenin belirlediği alanlar kullanılmıştır. Tüm gruplardaki dişlerin son renkleri kronlarının vestibüler yüzeylerine yapılmış olan sabit akışkan kompozit çerçevelere yerleştirilen spektrofotometre ile CIELAB sistemine göre L^* a^* b^* değerleri olarak kaydedilmiştir (Boya uzaklaştırılması sonrası ölçüm: T2). Ölçümler her zaman aynı operatör tarafından aynı aydınlatma koşulları altında yapılmıştır. Cihaz, her ölçümden önce cihaz talimatlarına göre kalibre edilmiştir. Her bir ölçüm 3 kez tekrarlanmıştır ve ortalaması alınmıştır.



Şekil 3.9. MB grubundan rastgele bir örneğin soldan sağa sırasıyla T0: herhangi bir işlem uygulanmamış ilk halinin, T1: PDT uygulanması sonrasında, T2: Boya uzaklaştırılması sonrası fotoğrafları

L^* , a^* ve b^* koordinatlarından elde edilen renk değişimi değerleri taban çizgisinden çıkarılmıştır ($\Delta L_1 = L_1 - L_0$; $\Delta a_1 = a_1 - a_0$; $\Delta b_1 = b_1 - b_0$, $\Delta L_2 = L_2 - L_0$; $\Delta a_2 = a_2 - a_0$; $\Delta b_2 = b_2 - b_0$). Renk değişimi, ΔE_1 için $\sqrt{(\Delta L_1)^2 + (\Delta a_1)^2 + (\Delta b_1)^2}$ ve ΔE_2 için $\sqrt{(\Delta L_2)^2 + (\Delta a_2)^2 + (\Delta b_2)^2}$ denklemi ile elde edilen ortalama AE değerleri ile ölçülmüştür.

3.7. İstatistiksel Analiz

Hesaplanan renk değişimleri üzerine (ΔL_1 , ΔL_2 , ΔE_1 , ΔE_2 , Δa_1 , Δa_2 , Δb_1 , Δb_2) Üç farklı boya (MB, TB, ICG), İki farklı solüsyon (SF, NaOCl) ve iki farklı uzaklaştırma tekniğinin (SNI, PUI) esas etkileri ve etkileşim etkileri 3 faktörlü faktöriyel varyans analizi modeli ile incelenmiştir. Ancak kontrol grubu faktöriyel yapıya uymadığı için kontrol grubunun bu ölçümlerdeki ortalaması diğer tüm alt gruplarla Kruskal-Wallis varyans analizi ile karşılaştırılmıştır. Farklılık olan ölçümlerde farklılığın kaynaklandığını grubu veya grupları bulmak amacıyla Post-

Hoc Dunn testi yapılmıştır. İstatistik anlamlılık düzeyi olarak $p < 0.05$ alınmış ve hesaplamalarda SPSS (ver. 22) programı kullanılmıştır.



4. BULGULAR

- *T0 ve T1 zaman periyotları arası PDT'den sonra renk değişiminin değerlendirilmesi*

Kruskal-Wallis analizi sonuçlarına göre, kullanılan FS boyalar arası ΔL_1 , Δa_1 , Δb_1 ve ΔE_1 değerleri aşağıdaki gibi incelenmiştir.

Tablo 4.1. ΔL_1 , Δa_1 , Δb_1 ve ΔE_1 değişimlerinin alt gruplardaki tanımlayıcı istatistikleri (Ortalama $\pm$ Standart Sapma)

		N	Ortalama $\pm$ Standart Sapma	
ΔL_1	Kontrol	14	0,2000 $\pm$ 1,40931	a
	MB	56	-2,5140 $\pm$ 3,65429	b
	TB	56	-3,7887 $\pm$ 4,27583	b
	ICG	56	-2,7765 $\pm$ 2,69768	b
	Toplam	182	-2,7782 $\pm$ 3,60429	
Δa_1	Kontrol	14	0,0286 $\pm$ 0,28128	a
	MB	56	-3,9220 $\pm$ 2,68540	b
	TB	56	-0,4943 $\pm$ 1,37611	a
	ICG	56	-5,5202 $\pm$ 4,83477	b
	Toplam	182	-3,0552 $\pm$ 3,84088	
Δb_1	Kontrol	14	0,0214 $\pm$ 0,92419	a
	MB	56	-4,6890 $\pm$ 4,49454	b
	TB	56	-5,8271 $\pm$ 4,66380	b
	ICG	56	-1,9101 $\pm$ 2,96349	a
	Toplam	182	-3,8218 $\pm$ 4,38494	
ΔE_1	Kontrol	14	1,4164 $\pm$ 0,89627	a
	MB	56	7,6521 $\pm$ 5,06259	b
	TB	56	7,9133 $\pm$ 5,25406	b
	ICG	56	7,3020 $\pm$ 5,26661	b
	Toplam	182	7,1451 $\pm$ 5,24124	

Boyaların ΔL_1 , Δa_1 , Δb_1 ve ΔE_1 değerlerinin karşılaştırılmasında “a, b, c, d” simgeleri kullanılmıştır. Farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı fark bulunan grupları göstermektedir.

ΔL_1 sonuçları:

Her 3 FS boya da ΔL_1 , kontrol grubuna kıyasla anlamlı derecede yüksek bulunmuştur (MB için $p=0,001$, TB için $p=0,000$ ve ICG için $p=0,002$) (Tablo 4.1.).

Δa_1 sonuçları:

Her 3 FS boya kontrol grubuyla kıyaslandığında MB grubu ve ICG grubu anlamlı derecede yüksek bulunmuştur (MB için $p=0,000$ ve ICG için $p=0,000$). TB grubu ile kontrol grubu arasında anlamlı bir fark yoktur (Tablo 4.1.).

Δb_1 sonuçları:

Her 3 FS boyanın kontrolle kıyaslanması sonucu MB grubu ve TB grubu anlamlı derecede yüksek bulunmuştur (MB için $p=0,000$ ve TB için $p=0,000$). ICG ile kontrol grubu arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır (Tablo 4.1.).

ΔE_1 sonuçları:

Kruskal-Wallis varyans analizi sonuçlarına göre, ΔE_1 değerleri tüm gruplarda pozitif ortalamaya sahiptir. Kontrol grubundaki ΔE_1 renk değişimi miktarı diğer gruplardan anlamlı düzeyde daha düşük bulunmuştur (Tablo 4.1.). Örnekler, boyama sonrası renk değişimi için değerlendirildiğinde (ΔE_1), tüm gruplar klinik olarak belirgin renk değişikliği sergilemiştir ($\Delta E \geq 3.3$).

- *T0 ve T2 zaman periyotları arası FS uzaklaştırma için prosedürlerin etkinliğinin değerlendirilmesi*

Kruskal-Wallis varyans analizi sonuçlarına göre ΔL_2 , Δa_2 , Δb_2 ve ΔE_2 değerlerinin Çoklu Karşılaştırma Testi ile kıyaslanması sonuçları aşağıdaki gibidir:

Tablo 4.2. ΔL_2 , Δa_2 , Δb_2 ve ΔE_2 değişimlerinin alt gruplardaki tanımlayıcı istatistikleri (Ortalama $\pm$ Standart Sapma)

		N	Ortalama $\pm$ Standart Sapma	
ΔL_2	Kontrol	14	0,071 $\pm$ 0,861	a
	MB+SF+SNI	14	-2,273 $\pm$ 2,363	b
	MB+SF+PUI	14	-1,000 $\pm$ 4,523	d
	MB+NaOCI+SNI	14	-0,232 $\pm$ 4,507	a
	MB+NaOCI+PUI	14	-0,294 $\pm$ 2,117	a
	TB+SF+SNI	14	-0,601 $\pm$ 4,488	a
	TB+SF+PUI	14	-3,551 $\pm$ 2,741	b
	TB+NaOCI+SNI	14	-2,457 $\pm$ 2,514	b
	TB+NaOCI+PUI	14	-0,723 $\pm$ 1,723	a
	ICG+SF+SNI	14	-2,074 $\pm$ 2,109	c
	ICG+SF+PUI	14	-3,037 $\pm$ 3,156	b
	ICG+NaOCI+SNI	14	0,360 $\pm$ 1,801	a
	ICG+NaOCI+PUI	14	0,581 $\pm$ 1,840	a
Δa_2	Kontrol	14	0,314 $\pm$ 1,039	a
	MB+SF+SNI	14	-3,581 $\pm$ 1,873	b
	MB+SF+PUI	14	-1,385 $\pm$ 1,413	b
	MB+NaOCI+SNI	14	-4,245 $\pm$ 2,840	b
	MB+NaOCI+PUI	14	-1,031 $\pm$ 0,780	b
	TB+SF+SNI	14	-0,557 $\pm$ 0,809	a
	TB+SF+PUI	14	0,063 $\pm$ 1,110	a
	TB+NaOCI+SNI	14	-1,149 $\pm$ 0,779	b
	TB+NaOCI+PUI	14	0,827 $\pm$ 0,910	b
	ICG+SF+SNI	14	-5,446 $\pm$ 3,671	b
	ICG+SF+PUI	14	-0,220 $\pm$ 0,912	a
	ICG+NaOCI+SNI	14	-4,004 $\pm$ 4,314	b
	ICG+NaOCI+PUI	14	0,307 $\pm$ 0,600	a

Alt grupların ΔL_2 , Δa_2 , Δb_2 ve ΔE_2 değerleri karşılaştırılmasında “a, b, c, d” simgeleri kullanılmıştır. Farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı fark bulunan grupları göstermektedir.

Tablo 4.2. (devamı) ΔL_2 , Δa_2 , Δb_2 ve ΔE_2 değişimlerinin alt gruplardaki tanımlayıcı istatistikleri (Ortalama $\pm$ Standart Sapma)

Δb_2	Kontrol	14	$-0,043 \pm 0,435$	a
	MB+SF+SNI	14	$-2,396 \pm 3,290$	a
	MB+SF+PUI	14	$-1,752 \pm 2,536$	a
	MB+NaOCl+SNI	14	$-5,835 \pm 3,892$	b
	MB+NaOCl+PUI	14	$-0,687 \pm 2,446$	a
	TB+SF+SNI	14	$-2,473 \pm 3,619$	a
	TB+SF+PUI	14	$-3,761 \pm 2,360$	b
	TB+NaOCl+SNI	14	$-4,235 \pm 2,595$	b
	TB+NaOCl+PUI	14	$-0,889 \pm 2,031$	a
	ICG+SF+SNI	14	$-0,740 \pm 2,212$	a
	ICG+SF+PUI	14	$0,160 \pm 2,506$	a
	ICG+NaOCl+SNI	14	$-0,687 \pm 4,758$	a
	ICG+NaOCl+PUI	14	$0,396 \pm 1,942$	a
ΔE_2	Kontrol	14	$1,059 \pm 0,956$	a
	MB+SF+SNI	14	$5,598 \pm 3,424$	b
	MB+SF+PUI	14	$8,268 \pm 5,216$	b
	MB+NaOCl+SNI	14	$4,313 \pm 3,760$	b
	MB+NaOCl+PUI	14	$2,875 \pm 1,980$	b
	TB+SF+SNI	14	$5,375 \pm 3,175$	b
	TB+SF+PUI	14	$5,967 \pm 3,290$	b
	TB+NaOCl+SNI	14	$5,052 \pm 2,714$	b
	TB+NaOCl+PUI	14	$2,409 \pm 1,956$	b
	ICG+SF+SNI	14	$6,500 \pm 3,806$	b
	ICG+SF+PUI	14	$7,213 \pm 4,783$	b
	ICG+NaOCl+SNI	14	$2,894 \pm 1,246$	b
	ICG+NaOCl+PUI	14	$2,462 \pm 1,276$	b

ΔL_2 , Δa_2 , Δb_2 ve ΔE_2 değerleri için, boya alt gruplarının kontrole karşılaştırılmalarında “a, b, c, d” harfleri kullanılmıştır. Farklı harfler istatistiksel olarak anlamlı fark bulunan grupları göstermektedir.

ΔL_2 sonuçları:

Tablo 4.2.’ de verilen ΔL_2 değerlerine göre kontrole kıyasla tüm gruplar zamanla koyulaşmıştır.

TB+SF+PUI, ICG+SF+PUI, TB+NaOCl+SNI ve MB+SF+SNI gruplarındaki ΔL_2 değişiminin, Kontrol, ICG+NaOCl+SNI, MB+NaOCl+PUI ve ICG+NaOCl+PUI gruplarından anlamlı düzeyde daha fazla olduğu görülmüştür (Tablo 4.2.).

ICG+SF+SNI grubundaki ΔL_2 değişiminin, ICG+NAOCL+SNI, MB+NAOCL+PUI ve ICG+NAOCL+PUI gruplarından anlamlı düzeyde daha fazla olduğu görölmüştür (Tablo 4.2.).

MB+SF+PUI grubundaki ΔL_2 değişiminin, ICG+NAOCL+PUI grubundan anlamlı düzeyde daha fazla olduğu görölmüştür (Tablo 4.2.).

Bunların dışında gruplar arasında ΔL_2 değişimi bakımından anlamlı farka rastlanmamıştır. Kontrol grubu, MB+NAOCL+PUI grubu, ICG+NAOCL+SNI grubu ve ICG+NAOCL+PUI grubunda değişim pozitif yönlü bulunurken diğer gruplarda negatif değer almıştır (Tablo 4.2.).

Δa_2 sonuçları:

Kruskal-Wallis varyans analizi sonuçlarına göre kontrol grubunun Δa_2 ortalaması ICG+SF+PUI alt grubu, TB+SF+SNI alt grubu, TB+SF+PUI alt grubu ve ICG+NAOCL+PUI alt grubundan anlamlı farklılık göstermez iken diğer tüm alt gruplara göre anlamlı düzeyde daha düşük Δa_2 ortalaması elde edildi (Tablo 4.2.).

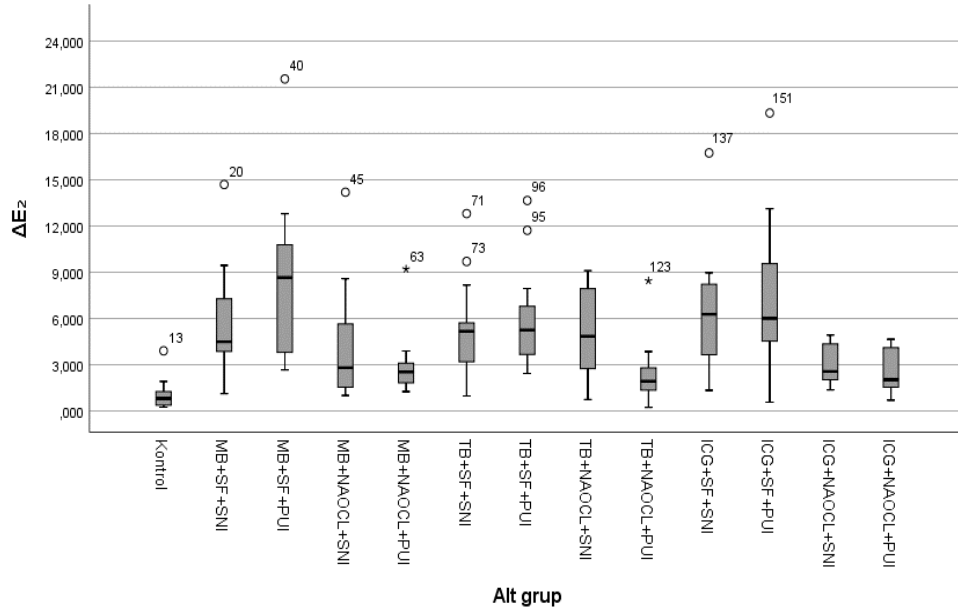
Δb_2 sonuçları:

Kruskal-Wallis varyans analizi sonuçlarına göre kontrol grubunun Δb_2 ortalaması MB+NAOCL+SNI, TB+NAOCL+SNI ve TB+SF+PUI alt gruplarından anlamlı düzeyde daha düşük bulunurken diğer tüm alt gruplardan anlamlı farklılık göstermediği belirlendi (Tablo 4.2.).

ΔE_2 sonuçları:

ΔE_2 değerleri tüm gruplarda pozitif ortalamaya sahiptir. Kontrol grubundaki ΔE_2 değişimi diğer gruplardan anlamlı düzeyde daha düşük bulunmuştur (Tablo 4.2.).

Örnekler, boya uzaklaştırma sonrası renk değişimi için değerlendirildiğinde (ΔE_2), yalnızca MB+NAOCL+PUI, TB+NAOCL+PUI, ICG+NAOCL+SNI ve ICG+NAOCL+PUI gruplarında klinik olarak belirgin renk değişikliği görölmemiştir ($\Delta E < 3.3$) (Şekil 4.1.).



Şekil 4.1. Alt gruplara göre ΔE_2 değişimi

3 faktörlü, faktöriyel varyans analizi sonuçlarına göre ΔL_2 , Δa_2 , Δb_2 ve ΔE_2 değerlerinin etkileşimleri ise aşağıdaki gibi incelenmiştir:

ΔL_2 sonuçları:

Tablo 4.3. Her bir boya, her bir solüsyon ve her bir uzaklaştırma tekniğine göre ΔL_2 ' ye ait ortalamalar

Boya	Solüsyon	Uzaklaştırma tekniği	Ortalama $\pm$ Standart Sapma	
MB	SF	SNI	-1,965 $\pm$ 2,624	a,x,A
		PUI	-0,940 $\pm$ 4,498	a,x,A
	NAOCI	SNI	-0,240 $\pm$ 4,513	ab,x,A
		PUI	-0,065 $\pm$ 2,230	a,x,A
TB	SF	SNI	-0,601 $\pm$ 4,488	a,x,A
		PUI	-3,551 $\pm$ 2,741	a,x,B
	NAOCI	SNI	-2,457 $\pm$ 2,514	a,x,A
		PUI	-0,723 $\pm$ 1,723	a,y,A
ICG	SF	SNI	-2,074 $\pm$ 2,109	a,x,A
		PUI	-3,037 $\pm$ 3,156	a,x,A
	NAOCI	SNI	0,360 $\pm$ 1,801	b,y,A
		PUI	0,581 $\pm$ 1,840	a,y,A

Her bir solüsyon ve uzaklaştırma tekniğinde boyalar arası farkı göstermek için “a,b,c” harfleri kullanılmıştır.

Her bir boya ve uzaklaştırma tekniğinde solüsyonlar arası farkı göstermek için “x,y,z” harfleri kullanılmıştır.

Her bir boya ve solüsyonda uzaklaştırma teknikleri arası farkı göstermek için “A,B,C” simgeleri kullanılmıştır. Farklı harfler aralarında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunan grupları göstermektedir.

Her bir solüsyon ve uzaklaştırma tekniğinde ayrı ayrı boyaların karşılaştırıldığı durumda, P değerleri incelendiğinde sadece NaOCl solüsyonu ve SNI uzaklaştırma tekniği kullanıldığında TB ile ICG boyaları arasında anlamlı farkın olduğu görülmüştür (P=0.045). Bunun dışındaki koşullarda yani diğer tüm kombinasyonlarda boyalar arası anlamlı farka rastlanmamıştır (Tablo 4.3.).

Her bir boya ve uzaklaştırma tekniğinde ayrı ayrı solüsyonların karşılaştırıldığı durumda P değerleri incelendiğinde; boya TB, uzaklaştırma tekniği PUI olduğunda SF ve NaOCl arasında (P=0.015), boya ICG, uzaklaştırma tekniği SNI olduğunda SF ve NaOCl arasında (P=0.035) ve boya ICG, uzaklaştırma tekniği PUI iken SF ve NaOCl arasında anlamlı fark olduğu görüldü (P=0.002). Diğer koşullarda SF ve NaOCl solüsyonu arasında anlamlı farka rastlanmamıştır (Tablo 4.3.).

Her bir boya ve solüsyonda ayrı ayrı uzaklaştırma tekniklerinin karşılaştırıldığı durumda ise P değerleri incelendiğinde sadece boya TB, solüsyon SF iken SNI ve PUI arasında anlamlı fark olduğu (P=0.011), diğer koşullarda SNI ve PUI arasında anlamlı farkın olmadığı görülmüştür (Tablo 4.3.).

Δa_2 sonuçları:

Tablo 4.4. Boyalara ve uzaklaştırma tekniklerine göre Δa_2 ortalamaları

Boya	Uzaklaştırma tekniği	Ortalama $\pm$ Standart Sapma	
MB	SNI	-3,787 $\pm$ 2,455	a,x
	PUI	-1,333 $\pm$ 1,273	a,y
TB	SNI	-0,853 $\pm$ 0,836	b,x
	PUI	0,445 $\pm$ 1,069	b,y
ICG	SNI	-4,725 $\pm$ 3,998	a,x
	PUI	0,043 $\pm$ 0,804	b,y

Aynı uzaklaştırma tekniğinde boyalar arası farkı göstermek için “a,b,c” harfleri kullanılmıştır. Aynı boya için uzaklaştırma teknikleri arası farkı göstermek için “x,y,z” harfleri kullanılmıştır.

Boya ve uzaklaştırma tekniği etkileşim sonucu elde edilen verilere göre, p değerleri incelendiğinde, uzaklaştırma tekniği SNI ise, MB ile TB boyalarının ve TB ile ICG boyalarının Δa_2 ortalamaları anlamlı farklılık gösterirken (her iki fark için p=0,001), MB ve ICG arasında anlamlı farka rastlanmamıştır. Uzaklaştırma tekniği PUI ise, MB ile TB boyalarının ve MB ile ICG boyalarının Δa_2 ortalamaları anlamlı farklılık gösterirken, TB ve ICG arasında anlamlı farka rastlanmamıştır (Tablo 4.4.).

Ayrıca her 3 boyada da SNI ile PUI uzaklaştırma tekniklerinin Δa_2 ortalamaları anlamlı farklılık göstermiştir ancak en büyük fark ICG boyasında bulunmuştur (Tablo 4.4.).

Δb_2 sonuçları:

Tablo 4.5. Solüsyon ve uzaklaştırma tekniklerine göre Δb_2 ortalamaları

Solüsyon	Uzaklaştırma tekniği	Ortalama $\pm$ Standart Sapma	
SF	SNI	-1,784 $\pm$ 3,097	a,x
	PUI	-1,719 $\pm$ 2,800	a,x
NaOCl	SNI	-3,558 $\pm$ 4,314	b,x
	PUI	-0,571 $\pm$ 2,515	a,y

Aynı uzaklaştırma tekniğinde solüsyonlar arası farkı göstermek için “a,b,c” harfleri kullanılmıştır.

Aynı solüsyon için uzaklaştırma teknikleri arası farkı göstermek için “x,y,z” harfleri kullanılmıştır.

Uzaklaştırma tekniği SNI iken NaOCl solüsyon ortalaması anlamlı düzeyde daha yüksek bulunurken ($p=0,007$), uzaklaştırma tekniği PUI olduğunda solüsyonlar arasında anlamlı farka rastlanmamıştır (Tablo 4.5.).

Solüsyon NaOCl iken SNI ortalaması anlamlı düzeyde daha yüksek bulunurken ($p=0,001$), SF solüsyondaki SNI ve PUI arasında anlamlı farka rastlanmamıştır (Tablo 4.5.).

Tablo 4.6. Boyaların Δb_2 ortalamaları

Boya	Ortalama $\pm$ Standart Sapma	
MB	-2,667 $\pm$ 3,586	a
TB	-2,839 $\pm$ 2,948	a
ICG	-0,218 $\pm$ 3,023	b

Boyaların karşılaştırılmasında boyalar arası farkı göstermek için “a,b,c” harfleri kullanılmıştır.

Boyalar karşılaştırıldığında MB’ de Δb_2 ortalaması ICG’ den ve TB’ de Δb_2 ortalaması ICG’ den anlamlı düzeyde daha büyük bulunmuştur. MB ve TB arasında anlamlı farka rastlanmamıştır (Tablo 4.6.).

ΔE_2 sonuçları:

Tablo 4.7. Solüsyonlara ve uzaklaştırma tekniklerine göre ΔE_2 ortalamaları

Solüsyon	Uzaklaştırma tekniği	Ortalama $\pm$ Standart Sapma	
SF	SNI	5,724 $\pm$ 3,463	a,x
	PUI	7,077 $\pm$ 4,479	a,x
NaOCl	SNI	4,113 $\pm$ 2,901	a,y
	PUI	2,727 $\pm$ 1,968	b,y

Aynı solüsyon grubunda uzaklaştırma teknikleri arası farkı göstermek için “a,b,c” harfleri kullanılmıştır.

Aynı teknik grubunda solüsyonlar arası farkı göstermek için “x,y,z” harfleri kullanılmıştır.

Solüsyon ve uzaklaştırma tekniği etkileşim sonucu elde edilen verilere göre, her iki uzaklaştırma tekniğinde de SF kullanıldığında renk değişimi (ΔE_2) anlamlı derecede yüksek bulunmuştur (SNI+SF için $p=0,028$ ve PUI+SF için $p=0,001$) (Tablo 4.7.).

Solüsyon olarak SF kullanıldığında uzaklaştırma teknikleri arasında anlamlı fark bulunmamıştır. Solüsyon olarak NaOCl kullanımında ise SNI tekniği anlamlı derecede daha yüksek renk değişimine (ΔE_2) sebep olmuştur ($p=0,050$) (Tablo 4.7.).

5. TARTIŞMA

Özellikle kalıcı intrakanal enfeksiyonlarda, kök kanal sisteminde bulunan mikroorganizmaları ortadan kaldırmak için sürekli bir araştırma olduğundan, endodontide PDT'ye ilgi artmaktadır. Çoğu klinisyen, NaOCl'nin ekstraradiküler dokulara zarar verme potansiyelini azaltmak için seyreltilmiş konsantrasyonu tercih eder ve %2,5 oran, yaygın olarak önerilmektedir (216). Bununla birlikte, çalışmalarda, fibroblastların %2,5 NaOCl tarafından hasar görmüş olduğu bulunmuştur (217,218). Nagayoshi ve ark. (173), fotosensitizörlü bir diyet lazerin ışıması ile üretilen ısıdan sitotoksik etki oluşmadığını ve bir FS ile kombinasyon halinde diyet lazer ışınlamasının, %2,5 NaOCl ile neredeyse aynı antimikrobiyal etkiye sahip olduğunu bulmuşlardır. Işıkla indüklenen dezenfeksiyon, geleneksel endodontik tedaviye yardımcı olarak kullanılabilir (219).

Kreisler ve ark. (220), *in vitro* 809 nm diyet lazer ile tek başına lazer ışınlamasının, NaOCl ile aynı anda lazer kullanımından daha etkili olmadığını göstermiş ve diyet lazerin potansiyel uygulamasının geleneksel tedavinin yerini almaması gerektiği, ancak olası bir yardımcı tedavi olarak görülmesi gerektiği sonucuna varmışlardır. Bu aynı zamanda daha yeni çalışmalarla da desteklenmiştir (221). Sohrabi ve ark. (222), kuru bir kanalda 980 nm lazer sisteminin kullanımının tek başına geleneksel kemomekanik tedaviden önemli ölçüde daha az etkili olduğunu kaydetmiştir. Chiniforush ve ark. (223), aPDT'nin mikroorganizmaların sayısını daha da azaltmak veya alternatif olarak virülans faktörlerini modifiye etmek için geleneksel kemo-mekanik tekniklerle birlikte uygulanması gerektiğini, böylece biyofilm oluşturma yeteneklerinin sınırlı olmasının sağlanabileceğini belirtmiştir.

Apikal periodontitisli vakalarda, lazer ile aktive dezenfeksiyon (LAD), inflamatuvar hücre yoğunluğunda bir azalmaya neden olabilir ve bu, onun bir yardımcı tedavi olarak önemini gösterir (224). Kök kanallarının LAD ve geleneksel preparasyonla tedavi edildiği bir çalışmada, 6. ayda periapikal iyileşme, tek başına geleneksel preparasyon yapılmış muadillerine kıyasla LAD uygulananlarda daha iyi bulunmuştur (31).

PDT uygulaması sırasında antimikrobiyal etki elde etmek için çeşitli fotosensitizerlerin (FS) kullanımı yaygındır. Fotosensitizer, belirli bir dalga boyunda ışığın ışınlanmasıyla etkinleştirilen aPDT'nin ana bileşenidir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda farklı FS'ler, çeşitli ışınlama dozları, farklı güç çıkışlarında birçok dalga boyundaki ışık kaynakları kullanılmıştır. Bu nedenle, klinik olarak önerilebilecek standartlaştırılmış bir protokol üzerinde bir fikir birliğine varmak mümkün değildir (225). Daha iyi antimikrobiyal etkiler elde etmek için ışığın fotoaktif boyalarla birleştirilmesine duyulan ihtiyaç, antimikrobiyal PDT literatüründe iyi bilinmektedir (38,39,226,227).

Modern klinik deneylerde kullanılan yaygın FS'ler olan Toluidin Blue O (TBO) ve Metilen Mavisi (MB)'nin etkili absorpsiyonu olan dalga boyları 600–660 nm aralığındadır. Metilen Mavisi boya çözeltisi, 373.91 g/mol moleküler ağırlığı ve ışığa duyarlı özellikleri olan, dentin tübüllerine nüfuz etme yeteneği ile en yaygın kullanılan fenotiyazin boyadır (197,215). Wainwright, MB molekülünün pozitif yükü ve geometrisi nedeniyle, özellikle guanin-sitozin bölgelerinde DNA'yı birbirine karıştırdığını, iplik kopmalarına ve singlet oksijen yoluyla bazların oksidatif bozulmasına neden olduğunu belirtmiştir (228). Ayrıca bu bağlamda, MB, mitokondriyal matrisin negatif elektrokimyasal ortamı tarafından çekildiğinden, esas olarak mitokondride birikmektedir.

Toluidin mavisi (TBO), amfifilik, pozitif yüklü, düşük hücresel ağırlığa ve 620-660 nm'lik pik absorpsiyona sahip mavi renkli bir fotosensitizerdir. Kök kanal enfeksiyonları hem gram pozitif hem de gram negatif bakterilerin karışımıdır; TBO'nun amfifilik özelliği onu kök kanallarının dezenfeksiyonu için uygun bir seçim yapar ve her ikisine karşı da bakterisidal etkiye sahiptir (229). Ayrıca, TBO'nun E. faecalis'e güçlü bağından dolayı, bakterilerin kök kanallarından uzaklaştırılmasında metilen mavisinden daha etkili olduğu gösterilmiştir (230–232).

Yeşil renklendirici ajan olan indosiyanın yeşili (ICG) ,1,7-Bis (1,1-dimetil-3-[4-sülfobutil]-1H-benz[e]indol-2-il)heptametyum-betain-Na, son zamanlarda FS olarak kullanılmıştır. Bu FS'nin mekanizmasının diğer FS'lerden farklı olduğu öne sürülmüştür. ICG'nin etkisi fotokimyasaldan ziyade esas olarak fototermal tedavidir (PTT) (160). Anyonik bir FS'dir. Absorpsiyonu, kritik olarak; çözünen ortama,

plazma proteinlerine bağlanmasına ve konsantrasyonuna bağlı olmasına rağmen, en yüksek absorpsiyon dalga boyu 810 nm'dir (233).

Pourhajibagher ve ark. (231), ICG'nin aPDT'de kullanımında, *E. faecalis*'e karşı TBO ve MB'ye göre daha fazla anti-biyofilm oluşturma aktivitesine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bu sonuçlardan farklı olarak, indosiyanin yeşili kullanılan foto-dezenfeksiyon ile irrigasyon solüsyonlarının kullanıldığı geleneksel dezenfeksiyonu karşılaştırırken, ICG, bakteri azalmasında önemli bir fark göstermemiştir (234).

Fotodinamik tedavilerin başarı oranı, FS'in tipine, dozuna, inkübasyon süresine ve lokalizasyonuna, oksijenin mevcudiyetine, ışığın dalga boyuna (nm), ışık gücü yoğunluğuna ve ışık enerjisi akıcılığına bağlıdır (235). Bu tedavinin dikkate alınması gereken sınırlamaları: düşük oksijenli ortam, kullanılacak FS ve ışığın difüzyon kabiliyetidir (29).

MB, TB ve ICG birçok çalışmada farklı konsantrasyonlarda kullanılmıştır. Gergova ve ark. (236) , Asnaashari ve ark. (237,238), Eldeniz ve ark. (239) TB'nin 0,1 mg/mL konsantrasyonda kullanıldığında antibakteriyal olarak etkin olduğunu bulmuşlardır. Benzer olarak, Rabello ve ark. (240) ve Camacho-Alonso ve ark. (241), MB'nin 0,1 mg/mL konsantrasyonda kullanımının antibakteriyel etkinliğini yeterli bulmuşlardır. Bu çalışmada 0,1 mg/mL MB ve 0,1 mg/mL TB konsantrasyonu seçildi. Pourhajibagher ve ark. , 1 mL steril distile su içinde 1 mg/mL nihai konsantrasyonda hazırlanmış ICG stok çözeltisinin aPDT'de kullanımında, *E. faecalis*'in hücre sayısını %98,2 ve biyofilm oluşumunu %68,4 oranında azaltabildiğini belirtmişlerdir (231).

FS'lerin akuöz ortamda ve biyofilm matriksinde kolaylıkla kümeleştikleri keşfedildiğinden, monomerik FS formu arzu edilir, çünkü suda kümelenmiş FS'nin yüksek bir oranı, uyarılmış durumda tekli oksijen oluşumunun verimini düşürerek, kendi kendini söndürme etkisinden dolayı tekli oksijen yerine radikal oluşumunu destekleyebilir. aPDT etkinliğini geliştirmek için, FS'lerin monomerik formlarda hazırlanması tercih edilir. Bu amaçla, genel olarak FS'ler deiyonize su, bidistile su, tamponlu salin veya PBS içinde çözülür (210,242). Çalışmamızda kullanılan FS

boyalar bir salin türü olan %0,9 NaCl çözeltisi (serum fizyolojik) içerisinde çözülmüştür.

Endodontide uygulanan fiberli veya fibersiz yapılmış aPDT çalışmaları araştırılırken, ilk aPDT raporu intrakanal fiber olmadan gerçekleştirilmiş (243), ancak daha sonraki çalışmalar fiber uç kullanmıştır (244–246). Sabino ve ark. , bir diyot lazer cihazı ve iki ışık dağıtım sistemi ile (pulpa odası ile temas halinde olan lazer el aleti ucu ve kanal içinde esnek polimetil metakrilattan yapılmış ve florlu polimer ile kaplanmış bir optik difüzör fiber uç) MB kullanarak kök kanallarının içindeki 72 saatlik biyofilmlerin mikrobiyal redüksiyonunu araştırmıştır. Çalışmada fiber uç, distal ucundan 1.5 cm kadar homojen radyal ışık sağlayabilmiş ve apikalden servikale spiral hareketlerle uygulanmıştır. Açıklanan sonuçlar, lazer ucu ışınlamasından sonra mikrobiyal yükte önemli bir azalma olduğunu göstermiş; yine de, ışınlama fiber uç kullanılarak gerçekleştirildiğinde, azalma önemli ölçüde daha yüksek bulunmuştur (247). Nihai sonuçlar olarak yazarlar, aPDT'nin her iki ışık dağıtım sisteminde de etkili olduğunu, ancak bir fiber ile ışınlama yapıldığında mikrobiyal azaltmanın yaklaşık 100 kat daha etkili olduğunu doğrulamışlardır (247).

İşnlama öncesi, mikroorganizmalara bağlanmayı sağlamak için FS'in hedef bölge ile kısa bir süre temas halinde olması gerekir (ışınlama öncesi süresi) (248) . FS'lerin ışınlama öncesi süresi, aynı zamanda inkübasyon süresi olarak da adlandırılır ve mikroorganizma hücreleri ile FS arasındaki teması artırmada önemli bir faktördür. FS'lerin kanala uygulanması ile antimikrobiyal amaçlar için inkübasyon süresi olarak adlandırılan ışığın parlatılması arasındaki süre az olmalıdır (birkaç dakika) çünkü ökaryotik hücrelerin aksine bakteriler tarafından FS alımı hızlıdır (249). Ayrıca, daha uzun inkübasyon süreleri, FS'lerin dentin-mine arayüzüne daha yakın olduğunda gözle görülür dentin renk değişikliğine sebep olmasına neden olur (215). Raporlar 30 saniyeden (227) 10 dakikaya (38) kadar büyük değişkenlik göstermektedir. Bununla birlikte, daha sık kullanılan periyotlar 2 dakika (5), 3 dakika (226) ve 5 dakikadır (245,250). Bu çalışmada, daha önce yapılmış olan çalışmalarda antimikrobiyal etkinliği yeterli ve kök kanal dezenfeksiyonunda etkili bulunduğu için 2 dakikalık ön ışınlama süresi seçilmiştir (251,252).

Sin ve ark. (248) klinik ortamda, FS'in görünür kırmızı diyot lazer kullanılarak 15 J'lik tipik parametrelerde 1 ila 2 dakika boyunca ışınlanmasının etkili

bakteriyel eliminasyon sağlayabildiğini bildirmişlerdir. Silva ve ark. (253), yalnızca 30 saniyelik bir ışına maruz kalma süresinin yetersiz olabileceğini, FS boyayı 60 ile 120 saniye boyunca ışınlamanın boyanın antibakteriyel etkilerini önemli ölçüde iyileştireceğini belirtmiştir.

PDT sırasında kullanılan fotoaktif boyaların absorpsiyon değerleri, kullanılan dalga boylarına göre değişmekte ve üretici bu absorpsiyon değerlerini kılavuzunda vermektedir. Bununla birlikte, literatürde hangi fotosensitizerin, ışınlama periyodunun, gücün veya dalga boyunun PDT için en iyi olduğu konusunda genel bir fikir birliği yoktur. Nagai ve ark. (182), MB ve Azulenosiyanin'i (Azc) 650 nm ve 940 nm dalga boylarında aktive ettikleri bir çalışmada, MB'nin her iki dalga boyunda da Azc gruplarına kıyasla önemli ölçüde daha fazla bakteri eliminasyonu sağladığını ve MB'nin her iki dalga boyunda istatistiksel olarak benzer bakterisidal etki gösterdiğini bildirmişlerdir. Ayrıca Azc'nin 940 nm ile aktive edildiği grupta 650 nm ile aktive edilen gruba kıyasla daha fazla bakterisidal etki gösterdiğini bulmuşlardır. Bir başka çalışmada Bal ve ark. (254), dentin dezenfeksiyonunu sağlamada, 940 nm dalga boyundaki diyet lazer ile ICG'yi kombine kullandıkları PDT'nin, yalnızca ICG kullanımına kıyasla daha başarılı olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmamızda, 940 nm dalga boyunda diyet lazer, tüm boyalar için 0,1 W güç çıkışında kullanılmıştır. Bununla birlikte, dalga boyunun ve güç çıkışının enfekte dentinin sterilizasyonu üzerindeki ayrıntılı etkileri gelecekteki çalışmalarda incelenmelidir.

PDT'nin endodontide uygulanmasına ilişkin önemli şüpheler vardır. Birçok farklı protokol test edilmiş ve dalga boyu, boya çözeltisi ve ışınlama protokolleri gibi değişkenler araştırılmıştır. Halen FS, ışık kaynakları ve tedavi parametrelerini belirlemek için önemli sayıda çalışma ve klinik araştırma yürütülmektedir (37,209,255). Bugüne kadar yapılan çalışmalar, geleneksel kök kanal tedavisinin PDT ile kombinasyonunun bakteri yükünü azaltmada etkili olduğunu göstermiş olsa da, PDT'de bir FS kullanımından sonra, dişler klinik olarak bu FS'ler tarafından boyanabilmektedir ve çok az çalışma, dişlerin boyanma derecesini ve bunun çıkarılması için olası protokolleri değerlendirmiştir. Ayrıca yapılmış önceki çalışmalarda irrigasyon solüsyonlarının PUI ile aktivasyonunun, PDT sonrası FS kaynaklı renklenmeyi uzaklaştırmadaki etkinliği değerlendirilmemiştir. Biz bu

çalışmada, PUI'nin SF ya da %5 NaOCl ile kombine kullanımının, SNI'nin SF ya da %5 NaOCl ile kombine kullanımına kıyasla, PDT sonrası FS uzaklaştırılması etkinliğinde anlamlı bir fark olup olmayacağını değerlendirmeyi amaçladık.

Farklı renklerden (mavi, yeşil, kahverengi, mor) çeşitli FS boyalar PDT için test edilmiştir. Bununla birlikte, fenotiyazin ailesinden (toluidin mavisi ve MB) türetilen FS boyaların dezavantajları, diş yapısının olası boyanmasını içerir (256). Diş lekelemesini en aza indirmeye çalışan son çalışmalar, bu tür yan etkileri en aza indirmek amacıyla kök kanal sistemini temizlemek ve şekillendirmek için kullanılan farklı tipte yardımcı maddeleri değerlendirmiş (255) veya daha düşük konsantrasyonlu formülasyonların kullanımını göstermiştir (206). Costa ve ark. (257), yansıma spektroskopisi altında, fenotiyazinden türetilen boyalar (%0,01 metilen mavisi ve %0,01 toluidin mavisi) kullanarak ve 10 mL % 1 NaOCl ile yıkayarak PDT'den sonra küçük azı dişlerinin kronlarının renk değişimini değerlendirmiş, PDT'yi tamamladıktan 60 gün sonra bile önemli renk değişikliği (ΔE) bildirmişlerdir. Carvalho ve ark. (258) kronların bukkal tarafındaki örneklerden alınan resimlerin rengini analiz etmiş ve Adobe Photoshop programı ile renk ölçümü gerçekleştirmiş, bunun sonucunda düşük metilen mavisi konsantrasyonlarının bile dentin tübüllerine nüfuz edebildiğini ve PDT'den sonra dental yapıları boyayabildiğini göstermiştir. Chiniforush ve ark. (160), MB gibi bazı FS uygulamalarının uygun konsantrasyon kullanılmadığı takdirde dişleri boyayabileceğini, bununla birlikte, %2,5 NaOCl uygulamasının FS uygulandıktan sonra diş renklenmesinin önlenmesinde etkili olduğunu öne sürmüştür. Figueiredo ve ark. (203) fotosensitizer olarak %0,01 metilen mavisi ve %0,01 toluidin mavisi kullanarak ve farklı ön ışınlama sürelerinden sonra (5 ve 10 dakika) PDT uygulanması sonrası dentin renklenmesinin geçirilmesine yönelik protokolleri de değerlendirmiştir. Yazarlar, renk değişimini bir klinik spektrofotometre (Vita Easyshade) kullanarak ölçmüş ve renk ölçümü numunelerin kronlarının bukkal yüzeyinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, her iki fotosensitizerin de örneklerin boyanmasına yol açtığı ve içerisinde %2,5 NaOCl bulunduran Endo-PTC'nin boyamanın çıkarılmasında etkili olduğu sonucuna varmışlardır. Diğer çalışmalar da diş kronlarının bukkal yüzeyinin boyanmasını değerlendirmiş, ancak renk analizi için bir spektrofotometre ekipmanı kullanılmamıştır.

Çalışmamızda da, yukarıdaki çalışmaların sonuçlarını destekleyecek şekilde, kullanılan her 3 boyada da, negatif kontrole göre diş yapısında anlamlı olarak renklenme görülmüştür. Tüm gruplarda $\Delta E_1 \geq 3.3$ olup, klinik olarak belirgin renk değişikliği sergilenmiştir. Elde ettiğimiz sonuçların değerlendirilmesiyle, tüm gruplardaki ΔE_2 değişimi kontrol grubundaki ΔE_2 değişiminden anlamlı derecede düşük bulunmuştur. Yani, boyalar kullanılan solüsyonlar ya da teknikler fark etmeksizin tamamen uzaklaştırılamamış, dişler boyanmış ve ilk hallerindeki renk değerlerine döndürülememiştir. Ancak, gruplar kendi aralarında değerlendirildiğinde, MB+NAOCL+PUI, TB+NAOCL+PUI, ICG+NAOCL+SNI ve ICG+NAOCL+PUI gruplarında klinik olarak belirgin renk değişikliği görülmemiştir ($\Delta E_2 < 3.3$).

Çalışmamızda, %5'lik NaOCl, 5 mL hacminde ve hem SNI hem de PUI tekniğinde 40'ar saniye kanallara uygulanmıştır. Ancak buna rağmen hiçbir grupta renk değişimi tamamen engellenememiştir. Daha önceki çalışmalarda,% 2,5'luk NaOCl'in boya uzaklaştırmada yeterli olduğu öne sürülmüştür (203,208). Ancak bu çalışmalarda hem kullanılan NaOCl'in miktarı hem de uygulama süreleri çalışmamızdakinden daha fazladır. %5'lik NaOCl'nin daha yüksek hacimde ya da daha uzun sürelerde kullanımının renk değişimini giderip gidermeyeceği gelecekteki çalışmalarla test edilmelidir.

Dişlerin ve restoratif materyallerin renk ölçümü, klinik uygulama ve araştırmalarda birçok önemli uygulamaya sahiptir (259). Dişlerin rengini ölçmek için, renk skalası kullanılarak yapılan görsel karşılaştırmalar, spektrofotometreler, kolorimetreler, spektoradyometreler ve dijital görüntü analizi tekniklerini kullanan cihazlar gibi birçok yöntem bulunmaktadır (260,261). Kolorimetreler düz yüzeyleri ölçmek için tasarlanmıştır, dişler genellikle düz değildir ve yüzey anormalliklerine sahip olabilir, ayrıca dişler yarı saydamdır, bu da ölçümü yapılan dişlerin kenarında ışık kaybına yol açarak yanlış renk değerleri verir. Spektoradyometreleri kullanarak diş rengini ölçmenin avantajları temel olarak temassız ölçüm yaklaşımlarıyla ilişkilidir. Spektoradyometrelerin kullanıldığı, diş rengi ölçümleri için diğer renk ölçüm cihazlarının kullanılmasına göre daha az yayınlanmış çalışma vardır. Bunun nedenleri, nispeten yüksek maliyetleri ve ölçüm için dikkatli aydınlatma ya da görüntüleme koşullarının ayarlanması olabilir. Dijital görüntüleme sistemleri,

dişlerin rengini belirlemede giderek daha popüler hale gelmektedir. Ancak bu sistemlerin kesinliği ve doğruluğu kamera kalitesi ve görüntü işleme yönteminden etkilenir; tutarlı renk tonu iletimi sağlanabilmesi için kamera ve ışık ayarları ve görüntü formatı her zaman sabit tutulmalıdır. Farklı aydınlatma koşulları altında farklı diş renkleri metamerizm fenomeni nedeniyle aynı görüldüğünde bu durum bu sistemler için potansiyel bir problem olabilir (260).

Spektrofotometrik değerlendirme, yüksek duyarlılığı nedeniyle renk değişimini tespit etmek için çeşitli renk değişimi ölçüm modelleri arasında geçerli bir metodolojidir. Cihazdan bağımsızdır ve renk için sayısal bir değer elde etmek için standart sabitler kullanıldığından, hata miktarı minimumdur (262). Spektrofotometreler, görünür spektrum boyunca 1-25 nm aralıklarla bir nesneden yansıyan ışık enerjisi miktarını ölçer ve ölçülen spektral yansımayı renk koordinatlarına (CIEXYZ, CIELAB veya CIELCH) ve çeşitli diş rengi değerlerine dönüştürebilir. Cihaz, tek bir ton ölçebilir veya bir diş yüzeyindeki ince farklılıkları haritalayabilir. Görsel ölçümler ve cihaz ölçümlerinin tonlarını eşleştirme yeteneğinin sistematik bir incelemesinde, çalışmaların çoğu bir spektrofotometre kullanıldığında daha kesin sonuçlar bildirmiştir (263). Çeşitli spektrofotometreler, in vivo olarak seramik kronların renk stabilitesinin ölçülmesi (264), mine gelişimsel kusurları (265), diş rengi prevalansı (266) ve diş beyazlatma çalışmaları (267) gibi dental araştırma alanlarında geniş uygulama ve başarı bulmuştur. Çalışmamızda, tekniğinin renk, tekrarlanabilirlik ve nesnellikteki küçük değişikliklere duyarlılığı nedeniyle Vita Easy Shade Advance 4.0 ile spektrofotometrik analiz uygulanmıştır. Ayrıca renk ölçümlerinin her seferde aynı noktadan kaydedilmesini sağlamak için diş yüzeylerinin vestibüler yüzeyine akışkan kompozit bir çerçeve yapılmıştır. Her bir ölçüm 3 kez tekrarlanmıştır ve ortalaması alınmıştır.

ΔL değerleri siyahtan (0) beyaza (100) değişimi temsil eder. Çalışmamızda elde edilen ΔL_2 miktarlarına göre tüm gruplardaki örnekler kontrol grubuna kıyasla zamanla koyulaşmıştır. Kararma miktarı en az ICG+NaOCl+SNI ve ICG+NaOCl+PUI gruplarında olmasına rağmen bu fark anlamlı bulunmamıştır. Boyaların her bir solüsyon ve uzaklaştırma tekniğinde ayrı ayrı karşılaştırılması sonucu, yalnızca TB+NaOCl+SNI grubu ile ICG+NaOCl+SNI grubu arasında anlamlı bir fark ($p=0.045$) bulunmuştur. Yani NaOCl solüsyonu ile SNI tekniği

kombine olarak kullanıldığında, TB, ICGye kıyasla dişlerde daha fazla kararmaya neden olmuştur. Solüsyonların her bir boya ve uzaklaştırma tekniğinde ayrı ayrı karşılaştırılmasında ise TB boyası PUI tekniğiyle uzaklaştırıldığında SF ve NaOCl solüsyonları arasında anlamlı bir fark görülmüştür ($p=0.015$) SF, TB boyasında PUI tekniğiyle kombine kullanıldığında NaOCl solüsyonundan anlamlı derecede daha fazla kararmaya sebep olmuştur. Aynı kıyaslamada boya ICG, uzaklaştırma tekniği SNI olduğunda SF ve NaOCl arasında ($p=0.035$) ve boya ICG, uzaklaştırma tekniği PUI iken SF ve NaOCl arasında anlamlı fark olduğu görülmüştür ($p=0.002$). Yani boya ICG iken her iki teknikte de SF, NaOCl solüsyonundan anlamlı derecede daha çok kararmaya sebep olmuştur. Uzaklaştırma tekniklerinin her bir boya ve solüsyonda ayrı ayrı karşılaştırılmasında ise yalnızca TB boyası için SF solüsyonu kullanıldığında SNI ve PUI teknikleri arasında anlamlı bir fark bulunmuştur ($p=0.011$). Boya TB ve solüsyon SF iken PUI tekniği, SNI tekniğinden anlamlı derecede daha fazla kararmaya sebep olmuştur.

PDT'nin anterior ve posterior dişler üzerindeki etkinliğini aynı başarı oranıyla bildiren bir çalışma bulunmaktadır (35). Ancak, PDT'nin, FS'lerle birlikte kullanımı sonrası renklenme ihtimalini göz önünde bulundurduğumuzda; özellikle maksiller anterior dişlerin yüz ve ağız estetiği üzerinde önemli bir etkisi olduğundan, renk değişimi değerlendirilmesi için bu çalışmada üst santral ve lateral keser dişler kullanılmıştır.

Sodyum hipoklorit, organik dokuyu çözme ve antimikrobiyal etkiye sahip olma gibi etki özellikleri nedeniyle uzun yıllardır kullanılan bir irrigasyon materyalidir (268) . *In vivo* çalışmalarda, %0,5 NaOCl'nin %5 NaOCl kadar etkili olduğu tespit edilmiş ve antibakteriyel etki açısından herhangi bir farklılık bildirilmemiştir (269). Carvalho ve ark. (258), PDT sonrasında MB boyasının neden olduğu diş renklenmelerinin önlenmesinde Endo-PTC kremi ile veya olmadan %2,5 NaOCl kullanılarak test ettikleri tekniklerde %2,5 NaOCl'i her iki teknikte de boya uzaklaştırmada etkili bulmuşlardır.

Çalışmamızda, kullanılan her iki uzaklaştırma tekniği için, SF solüsyonunda NaOCl solüsyonuna kıyasla ΔE_2 değişimi anlamlı derecede fazla bulunmuştur. Yani SF solüsyonu kullanıldığında, her iki teknikte de etkin boya uzaklaştırma sağlanamamıştır. Ancak her iki uzaklaştırma tekniğinde de NaOCl kullanıldığında

SF kullanılan değerlere kıyasla renk değişimi (ΔE_2) anlamlı derecede düşük bulunmuştur. Fotosensitizer boyaların %5 NaOCl ile SF'ten daha iyi oranda uzaklaştırılabilmesi, muhtemelen NaOCl'nin, diş yapısının temizlenmesine ve ağartılmasına katkıda bulunan, özellikle klor ve oksijen salma yeteneği gibi fizikokimyasal özelliklerinden kaynaklanmaktadır (13). Kök kanalının yıkanması sırasında sadece mekanik temizliğe neden olabilme kabiliyeti nedeniyle, SF solüsyonu, %5 NaOCl'den daha düşük kök kanal temizliğini sunmuştur.

Standart iğne irrigasyonu, pasif ultrasonik aktivasyonun ortaya çıkmasından önce kök kanalına irrigasyon solüsyonu vermede etkili bir yöntem olarak savunulmuştur (270). Bu teknik hem pratisyen hekimler hem de endodontistler tarafından hala yaygın olarak kabul edilmektedir. Teknik, bir irrigasyon solüsyonunun, pasif olarak veya çalkalayarak, değişken ölçülerde iğneler / kanüller vasıtasıyla kanal boşluğunda yukarı ve aşağı hareket ettirerek dağıtılmasını içerir. Bu iğnelerden bazıları, irrigasyon solüsyonunu en uzak uçlarından dağıtmak için tasarlanırken, diğerleri kapalı bir ucu olan yandan delikli kanüller aracılığıyla vermek üzere tasarlanmıştır.

Şırınga irrigasyonunun avantajlarından biri, kanal içindeki iğne penetrasyon derinliğinin ve kanalda bulunan irrigasyon solüsyon hacminin nispeten kolay kontrolüne izin vermesidir (270). Bununla birlikte, Gu ve ark. (115), standart iğne irrigasyonu ile yaratılan mekanik yıkama eylemi nispeten zayıf olduğunu belirtmişlerdir. Standart iğne irrigasyonundan sonra, erişilemeyen kanal uzantıları ve düzensizliklerinin birikintileri ve bakterileri barındırması ve dolayısıyla kanalın tam debridmanını zorlaştırması muhtemeldir (115).

Standart iğne irrigasyonunun, kanal apekte 40 boyutunun altına genişletildiğinde daha az etkili olduğu bildirilmiştir (271). Biz de çalışmamızda, örneklerin kök kanallarını, apekte #40 boyutuna denk gelen Protaper Next X4 eğeyle son preparasyon gerçekleştirecek şekilde genişlettik. Ayrıca bu apikal genişletme, çalışmada kullandığımız lazer cihazının fiber ucunun kök kanalında yeterli bir uzunluğa ulaşmasını da sağlar.

Kök kanal sistemi için ek dezenfeksiyon sağlamak ve muhtemelen tedavi sonucunu iyileştirmek için yeni yöntemler araştırılmış; güta perka konları, endodontik aletler veya özel fırçalarla manuel aktivasyon, düşük hızlı el aletleriyle

veya sonik veya *sub-sonik* enerji ile etkinleştirilen titreşimli sistemler, ultrasonik aktivasyon veya irrigasyon solüsyonları ve apikal negatif basınçlı irrigasyon sistemlerini mekanik olarak etkinleştirmek için lazer gibi yeni teknikler önerilmiştir (125). Ultrasonik aktivasyon, çeşitli *in vitro* çalışmalarda gösterilen irrigasyon prosedürünün hem mekanik hem de kimyasal yönlerini iyileştirebilir (130). 6 farklı irrigasyon aktivasyon cihazının kıyaslandığı bir sistemik derlemede, ultrasoniğin ve ardından onu izleyecek şekilde EndoVac'ın en sık bildirilen irrigasyon aktivasyon cihazı olduğunu bildirilmiştir (110).

Pasif ultrasonik irrigasyon (PUI), akustik enerjinin düz bir telden veya *osilasyonlu* bir eğeden, kök kanal boşluğundaki bir irrigasyon solüsyonuna ultrasonik dalgalar aracılığıyla iletilmesine dayanan, kesmenin olmadığı bir irrigasyon protokolüdür. Bunun sonucunda, kanal duvarlarındaki deformitelerin azaltılmasına yardımcı olan bir akustik akış ve kavitasyon oluşturur (110). "Pasif" terimi ultrasonik ucun kesim yapmayan hareketi için kullanılır, aslında işlemin kendisi aktif bir süreçtir. Yüksek güçlü ultrason, akustik akışın etkisiyle bakteriyel biyofilmlerin dağılmasına neden olur. Biyofilmlerin bir kök kanalı içinde dağılması, ortaya çıkan planktonik bakterileri NaOCl'nin bakterisidal aktivitesine daha duyarlı hale getirebilir (272). Kavitasyon da, hücre zarının geçici olarak zayıflamasına neden olarak bakterileri NaOCl'ye karşı daha geçirgen hale getirmiş olabilir (115). Ahmad ve ark. (129), geçici kavitasyonun kanal temizliğinde bir rol oynamadığını; bununla birlikte, akustik akışın, ilgili ana mekanizma gibi görünmekte olduğu sonucuna varmışlardır.

Akustik akış, *osilasyonlu* bir eğeyi çevreleyen dairesel harekette irrigasyon solüsyonunun hızlı hareketi anlamına gelir. PUI sırasında kök kanalında meydana gelen akustik akışa mikro akış denir. Yer değiştirme genliği eğenin ucunda zirvededir ve solüsyonun kök kanalının koronal kısmına doğru akışını sağlar. Eğe, kanalda kolaylıkla titreyemediğinde mikro akış yoğunluğu azalacak, ancak tamamen durmayacaktır. Mikro akış, kanala temas eden eğenin yüzey alanıyla doğru orantılı değildir. Akustik akışın etkisi önemlidir ancak kavitasyonun etkisi minimumdur ve eğenin ucuna kadar sınırlı miktardadır (125).

PUI, periradiküler iyileşme ve bakteriyel azalma gibi endodontik sonuçları iyileştirmede önerilmiştir (127). Dentin debrisinin uzaklaştırılması PUI kullanımı ile

3 dakika içinde gerçekleştirilebilir (273). Dahası, her biri 20 sn olacak şekilde PUI ile 3 döngüsel aktivasyonun LAT ile elde edilebilen eşdeğer temizliği ve bakteri azalmasını sağladığı gösterilmiştir (135).

IrriSafe (Acteon IrriSafe Files, ACTEON North America, Inc.), künt ucu ile irrigasyon solüsyonuna, mikro akımların ve kavitasyonun geçişini kolaylaştıran pasif ultrasonik bir irrigasyon sistemidir. Apikal daralmayı bozmadan smear tabakasını, mikroorganizmaları ve kalıntıları giderir. Alet, çalışma boyundan 1mm kısa kalacak şekilde kök kanal lümeni içinde serbestçe titreşmelidir. Üretici firma tarafından klinik vakaların çoğunluğu için en ince çap (IRR 20), çocuk kanalları gibi geniş kanalların tedavisi için en büyük alet (IRR 25) kullanımı önerilmiştir. IrriSafe, IRR 20/21 veya IRR 20/25 ve IRR 25/21 veya IRR 25/25 olmak üzere iki uzunluk ve boyutta mevcuttur. Biz çalışmamızda, Protaper Next eğe sisteminde X4'e kadar genişletilmiş geniş kanal boşluğuna sahip üst keser dişler kullandığımız için 25 boyutu ve 21 mm uzunluğu olan IRR 25/21 ultrasonik ucu kullandık. Ayrıca IrriSafe, çalışmamızda, üretici firma tarafından önerilen endo modu olan sarı renk kodlu "6" güç seviyesinde etkinleştirilmiştir.

İrrigasyon materyalinin ultrasonik aktivasyonu, kök kanal sisteminin *in vitro* debridmanını iyileştiriyor gibi görünmekte ve sonuçlar *in vivo* bazı tartışmalar sunmaktadır (45). İrrigasyon solüsyonlarının PUI ile birlikte kullanımında, solüsyon, biyofilmin bulunabildiği ve aletlerin ulaşamadığı kısımlarda bile kanalın tüm bölgelerine yayılabilir, akustik akış sayesinde etkileri solüsyonun etkileri iyileştirilebilir (274). Plotino ve ark. (275), NaOCl'nin irrigasyon solüsyonu olarak kullanımında, en yüksek antibakteriyel etkinliğin PUI ile elde edilebileceğini öne sürmüşlerdir. Çeşitli çalışmalar, PUI ile birlikte kullanılan NaOCl'nin kök kanalından standart iğne irrigasyonundan daha fazla dentin kalıntısı, planktonik bakteri ve pulpa dokusunu çıkardığını göstermiştir (127). Kök kanal irrigasyon solüsyonlarını ve özellikle sodyum hipokloritin ultrasonik aktivasyonunun, analiz edilmiş diğer tüm mekanik ajitasyon sistemleriyle karşılaştırıldığı güncel bir derleme, sodyum hipokloritin ultrasonik aktivasyonunun altın standart olduğunu bildirmiştir (276).

Çalışmamızda, tüm boyalar için, NaOCl+SNI kombinasyonu, NaOCl+PUI kombinasyonuna göre anlamlı derecede yüksek ΔE_2 değerleri göstermiştir. Yani NaOCl solüsyonunun standart iğne irrigasyonu ile kombine kullanımında,

NaOCl'nin PUI tekniği ile kombine kullanımına göre daha fazla renk değişimi gerçekleşmiş ve boyalar daha etkin uzaklaştırılamamıştır. NaOCl solüsyonunun PUI tekniği ile birlikte kullanımında boyalar anlamlı derecede daha etkili uzaklaştırılmıştır. Bunun sebebinin muhtemelen, PUI sisteminin irrigasyon materyalinin açık dentin tübülleri içerisine nüfuz etmiş FS boyaya daha fazla ulaşmasını sağlaması olduğunu düşünmekteyiz.

nceki çalışmalarda, irrigantların ultrasonik ajitasyonu, tek başına SNI'ye göre kök kanal siteminde daha iyi temizleme ve dezenfeksiyon etkinliği göstermiştir (277,278).

Silva ve ark. (127) tarafından yapılan bir sistematik derlemede, periapikal iyileşmeyi veya bakteriyel dezenfeksiyonu iyileştirmek için klinik uygulamada, PUI'nin SNI yerine kullanılmasını destekleyen herhangi bir kanıt bulunamamıştır. Kesim ve ark. (279) tarafından yapılmış bir çalışmada ise, kantitatif bir kültüre dayalı metodoloji kullanılmış ve SNI ile karşılaştırıldığında PUI ile daha üstün bir koloni sayısında azalma (RCC) gösterilmiştir, ancak fark anlamlı değildir. Ayrıca, Siqueira ve ark. (280), farklı uygulama teknikleri kullanılarak NaOCl'nin etkinliği karşılaştırıldığında, PUI'li NaOCl'nin SNI'li NaOCl'den üstün olmadığını bildirmiştir. Bu nedenle, irrigasyon materyalinin ultrasonik aktivasyonunun riskleri ve faydaları ile ilgili objektif kılavuzlar henüz tespit edilmemiştir.

Bu alışmada, %5 NaOCl ve PUI nin birlikte kullanıldığı gruplar, boyalar arasında hiçbir fark olmaksızın en büyük temizleme değerlerini sergileyenlerdi. Bununla birlikte, NaOCl+PUI kombinasyonunun kullanıldığı tüm gruplarda (MB+NaOCl+PUI, TB+NaOCl+PUI ve ICG+NaOCl+PUI) ve ICG+SF+PUI grubu hariç diğer tüm gruplarda renk değişimi (ΔE_2) değerleri hala yüksekti ve spektrofotometre okumasına göre, görsel olarak algılanabilir ölçümlerdir ($\Delta E_2 \geq 3,3$). MB+NaOCl+PUI, TB+NaOCl+PUI, ICG+NaOCl+PUI ve ICG+SF+PUI gruplarında klinik olarak gözle görülebilir renk değişimi bulunmamıştır ($\Delta E_2 < 3,3$). Bu çalışmada uygulanan parametrelerle pasif ultrasonik aktivasyon, test edilen protokol ile kök kanal boyamasının çıkarılmasında %5 NaOCl'nin temizleme etkisini güçlendirmiştir. NaOCl'nin kimyasal etkisinin, kök kanalından FS boyaların giderilmesinden sorumlu olduğu söylenebilir. Bununla birlikte, FS uzaklaştırılmasına yönelik en iyi protokolle ilgili daha fazla kanıt oluşturmak için diğer protokoller de test edilmelidir.

Ek olarak, bu çalışmanın ve PDT tekniğinin diğer sınırlamaları, bakteri yan ürünleri, doku sıvıları, dentin, dentin matriksi ve pulpal doku kalıntıları gibi doku inhibitörlerinin varlığıdır. Çeşitli iyonların varlığı, PDT'nin fotosensitizer alımını ve antimikrobiyal mekanizmasını da değiştirir. MB'nin antibakteriyel aktivitesi, doku inhibitörlerinin varlığında değişen derecelerde azalır (281). Doku inhibitörleri ayrıca yüksek derecede reaktif singlet oksijen için potansiyel bir substrat görevi görebilir (282). Tekli oksijenin yarı ömrünün, serum proteinlerinin varlığında tehlikeye düştüğü gösterilmiştir (283). Dolayısıyla PDT, substrat durumundan doğrudan etkilenen bir tekniktir ve performansı, az ya da çok doku inhibitörlerine bağlı olarak değişebilir. Bu alandaki tüm *in vitro* çalışmaların sonuçlarının *in vivo* olarak gerçekte olana tamamen aktarılamayacağını belirtmek önemlidir, çünkü *in vitro* örneklerden elde edilen kök dentindeki dentin geçirgenliği ve dentin tübüllerinin kılcal kuvvetleri tutulumu yoktur. Dolayısıyla FS boyaların sebep olduğu renklenme şiddeti *in vitro* ve *in vivo* çalışmalarda farklı şekilde sonuçlanabilir. Dentin tübüllerinin içindeki klinik durumu simüle etmek için bir makinenin kullanılması gelecekteki çalışmalarda önerilebilir.

Klinik uygulama için en uygun ve etkili protokolü, lazer ışınlama parametrelerini, diş rengi değişimini sınırlamak için etkili FS türü ve konsantrasyonunu ve farklı maruz kalma sürelerinden sonra boyaların uzaklaştırılması protokolünü belirlemek için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Fotosensitizer boyaların PDT’de kullanımı sonrası kullanılan irrigasyon solüsyonlarının pasif ultrasonik irrigasyon sistemi ile aktive edildiğinde dişlerdeki renklenmenin azaltılıp azaltılamayacağını değerlendirmeyi amaçladığımız bu çalışmamızın sonucunda elde edilen ve değerlendirilen verilere göre,

- Çalışmada PDT için kullanılan tüm fotosensitizerlerin diş rengini değiştirdiği ve estetik olmayan bir görünüme neden olduğu açıktır. Bununla birlikte, bu renk değişimi kalıcı değildir ve pasif ultrasonik sistem tarafından etkinleştirilen %5 NaOCl kullanılarak iyileştirilebilir.
- %5 NaOCl kullanımında, PUI tekniği uygulanan dişlerin SNI tekniği uygulanan dişler ile karşılaştırıldığında anlamlı derecede daha az renk değişikliği gösterdiği görülmüştür.
- SF kullanımında PUI tekniğinin SNI tekniğine kıyasla anlamlı bir farkı bulunamamıştır.
- Teknik ve boya fark etmeksizin, %5 NaOCl, SF’ten anlamlı derecede daha etkili boya uzaklaştırmış ve daha az renklenmeye sebep olmuştur.

7. KAYNAKLAR

1. **Byström A, Sundqvist G.** Bacteriologic evaluation of the effect of 0.5 percent sodium hypochlorite in endodontic therapy. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* **1983**;55(3):307–12.
2. **Byström A, Claesson R, Sundqvist G.** The antibacterial effect of camphorated paramonochlorophenol, camphorated phenol and calcium hydroxide in the treatment of infected root canals. *Dent Traumatol.* **1985**;1(5):170–5.
3. **Engstrom B, Frostell G.** Bacteriological studies of the non-vital pulp in cases with intact pulp cavities. *Acta Odontol Scand.* **1961**;19:23–39.
4. **Sjögren U, Figdor D, Persson S, Sundqvist G.** Influence of infection at the time of root filling on the outcome of endodontic treatment of teeth with apical periodontitis. *Int Endod J.* **1997**;30(5):297–306.
5. **Bonsor SJ, Nichol R, Reid TMS, Pearson GJ.** Microbiological evaluation of photo-activated disinfection in endodontics (An in vivo study). *Br Dent J.* **2006**;200(6):337–41.
6. **Siqueira JFJ, Rôças IN.** Clinical implications and microbiology of bacterial persistence after treatment procedures. *J Endod.* **2008**;34(11):1291-1301.e3.
7. **Rios A, He J, Glickman GN, Spears R, Schneiderman ED, Honeyman AL.** Evaluation of photodynamic therapy using a light-emitting diode lamp against *Enterococcus faecalis* in extracted human teeth. *J Endod.* **2011**;37(6):856–9.
8. **Rald DP, Lage-Marques JL.** In vitro evaluation of the effects of the interaction between irrigating solutions, intracanal medication and Er:YAG laser in dentin permeability of the endodontic system. *Pesqui Odontol Bras.* **2003**;17(3):278—285.
9. **Vivan RR, Bortolo MV, Duarte MAH, Moraes IG de, Tanomaru-Filho M, Bramante CM.** Scanning electron microscopy analysis of RinsEndo system and conventional irrigation for debris removal. *Braz Dent J.* **2010**;21(4):305–9.
10. **Santos JM, Palma PJ, Ramos JC, Cabrita AS, Friedman S.** Periapical inflammation subsequent to coronal inoculation of dog teeth root filled with resilon/epiphany in 1 or 2 treatment sessions with chlorhexidine medication. *J Endod.* **2014**;40(6):837–41.
11. **Siqueira JFJ, Guimarães-Pinto T, Rôças IN.** Effects of chemomechanical preparation with 2.5% sodium hypochlorite and intracanal medication with calcium hydroxide on cultivable bacteria in infected root canals. *J Endod.* **2007**;33(7):800–5.
12. **Morgental RD, Singh A, Sappal H, Kopper PMP, Vier-Pelisser FV, Peters OA.** Dentin inhibits the antibacterial effect of new and conventional endodontic irrigants. *J Endod.* **2013**;39(3):406–10.
13. **Zehnder M.** Root Canal Irrigants. *J Endod.* **2006**;32(5):389–98.
14. **Zehnder M, Kosicki D, Luder H, Sener B, Waltimo T.** Tissue-dissolving capacity and antibacterial effect of buffered and unbuffered hypochlorite solutions. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* **2002**;94(6):756–62.
15. **Naenni N, Thoma K, Zehnder M.** Soft tissue dissolution capacity of currently used and potential endodontic irrigants. *J Endod.* **2004**;30(11):785–7.
16. **Sirtes G, Waltimo T, Schätzle M, Zehnder M.** The Effects of Temperature on Sodium Hypochlorite Short-Term Stability, Pulp Dissolution Capacity, and Antimicrobial Efficacy. *J Endod.* **2005**;31:669–71.

17. **Gatot A, Arbelle J, Leiberman A, Yanai-Inbar I.** Effects of sodium hypochlorite on soft tissues after its inadvertent injection beyond the root apex. *J Endod.* **1991**;17(11):573–4.
18. **Estrela C, Estrela CRA, Barbin EL, Spanó JCE, Marchesan MA, Pécora JD.** Mechanism of action of sodium hypochlorite . C. 13, Brazilian Dental Journal . scielo ; **2002.** s. 113–7.
19. **Hasheminia S, Farhad AR, Saatchi M, Rajabzadeh M.** Synergistic antibacterial activity of chlorhexidine and hydrogen peroxide against *Enterococcus faecalis*. *J Oral Sci.* **2013**;55(4):275–80.
20. **Ok E, Adanir N, Hakki S.** Comparison of cytotoxicity of various concentrations origanum extract solution with 2% chlorhexidine gluconate and 5.25% sodium hypochlorite. *Eur J Dent.* **2015**;9(1):6–10.
21. **Qiang Y-G, Yow CMN, Huang Z.** Combination of photodynamic therapy and immunomodulation: Current status and future trends. *Med Res Rev.* **2008**;28(4):632–44.
22. **Kuştarci A, Sümer Z, Altunbaş D, Koşum S.** Bactericidal effect of KTP laser irradiation against *Enterococcus faecalis* compared with gaseous ozone: an ex vivo study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* **2009**;107(5):e73-9.
23. **Heilborn C, Reynolds K, Johnson JD, Cohenca N.** Cleaning efficacy of an apical negative-pressure irrigation system at different exposure times. *Quintessence Int.* **2010**;41(9):759–67.
24. **De Moor RJG, 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(9):1580–3.
25. **Halford A, Ohl C-D, Azarpazhooh A, Basrani B, Friedman S, Kishen A.** Synergistic effect of microbubble emulsion and sonic or ultrasonic agitation on endodontic biofilm in vitro. *J Endod.* **2012**;38(11):1530–4.
26. **Macedo R, Verhaagen B, Rivas DF, Versluis M, Wesselink P, van der Sluis L.** Cavitation measurement during sonic and ultrasonic activated irrigation. *J Endod.* **2014**;40(4):580–3.
27. **Shrestha A, Shi Z, Neoh KG, Kishen A.** Nanoparticulates for antibiofilm treatment and effect of aging on its antibacterial activity. *J Endod.* **2010**;36(6):1030–5.
28. **Kvist M, Hancock V, Klemm P.** Inactivation of efflux pumps abolishes bacterial biofilm formation. *Appl Environ Microbiol.* **2008**;74(23):7376–82.
29. **Gursoy H, Ozcakir-Tomruk C, Tanalp J, Yilmaz S.** Photodynamic therapy in dentistry: a literature review. *Clin Oral Investig.* **2013**;17(4):1113–25.
30. **Firmino RT, Brandt LMT, Ribeiro GL, dos Santos KSA, Catão MHC de V, Gomes DQ de C.** Endodontic treatment associated with photodynamic therapy: Case report. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* **2016**;15:105–8.
31. **de Miranda RG, Colombo APV.** Clinical and microbiological effectiveness of photodynamic therapy on primary endodontic infections: a 6-month randomized clinical trial. *Clin Oral Investig.* **2018**;22(4):1751–61.
32. **Hamblin MR, Hasan T.** Photodynamic therapy: a new antimicrobial approach to infectious disease? *Photochem Photobiol Sci Off J Eur Photochem Assoc Eur Soc Photobiol.* **2004**;3(5):436–50.
33. **Sharwani A, Jerjes W, Salih V, MacRobert AJ, El-Maaytah M, Khalil HSM, vd.** Fluorescence spectroscopy combined with 5-aminolevulinic acid-induced protoporphyrin IX fluorescence in detecting oral premalignancy. *J Photochem Photobiol B Biol.* **2006**;83(1):27–33.

34. **Konopka K, Goslinski T.** Photodynamic therapy in dentistry. *J Dent Res.* **2007**;86(8):694–707.
35. **Bonsor SJ, Nichol R, Reid TMS, Pearson GJ.** An alternative regimen for root canal disinfection. *Br Dent J.* **2006**;201(2):101–5.
36. **Garcez AS, Nuñez SC, Hamblin MR, Suzuki H, Ribeiro MS.** Photodynamic therapy associated with conventional endodontic treatment in patients with antibiotic-resistant microflora: a preliminary report. *J Endod.* **2010**;36(9):1463–6.
37. **Garcez AS, Nuñez SC, Hamblin MR, Ribeiro MS.** Antimicrobial effects of photodynamic therapy on patients with necrotic pulps and periapical lesion. *J Endod.* **2008**;34(2):138–42.
38. **Fimple JL, Fontana CR, Foschi F, Ruggiero K, Song X, Pagonis TC, vd.** Photodynamic treatment of endodontic polymicrobial infection in vitro. *J Endod.* **2008**;34(6):728–34.
39. **Foschi F, Fontana CR, Ruggiero K, Riahi R, Vera A, Doukas AG, vd.** Photodynamic inactivation of *Enterococcus faecalis* in dental root canals in vitro. *Lasers Surg Med.* **2007**;39(10):782–7.
40. **Ng R, Singh F, Papamanou DA, Song X, Patel C, Holewa C, vd.** Endodontic photodynamic therapy ex vivo. *J Endod.* **2011**;37(2):217–22.
41. **Tomson P, Simon S.** Contemporary Cleaning and Shaping of the Root Canal System. *Prim Dent J.* **2016**;5:46–53.
42. **Wu M-K, Wesselink PR.** Efficacy of three techniques in cleaning the apical portion of curved root canals. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology.* **1995**;79(4):492–6.
43. **De Meyer S, Meire MA, Coenye T, De Moor RJG.** Effect of laser-activated irrigation on biofilms in artificial root canals. *Int Endod J.* **2016**;50(5):472–9.
44. **Walsh LJ.** Novel approaches to detect and treat biofilms within the root canals of teeth: A review. *Antibiotics.* **2020**;9(3):129.
45. **Cohen, Stephen; Hargreaves, Kenneth M. ; Berman, L. H. ; Rotstein I.** COHEN'S PATHWAYS OF THE PULP, Eleventh Edition. 11. baskı. Missouri: Elsevier; **2016.** 907 s.
46. **Senia ES, Marshall FJ, Rosen S.** The solvent action of sodium hypochlorite on pulp tissue of extracted teeth. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol.* **1971**;31(1):96–103.
47. **Mohammadi Z.** Sodium hypochlorite in endodontics: an update review. *Int Dent J.* **2008**;58(6):329–41.
48. **Baron A, Lindsey K, Sidow SJ, Dickinson D, Chuang A, McPherson JC.** Effect of a Benzalkonium Chloride Surfactant-Sodium Hypochlorite Combination on Elimination of *Enterococcus faecalis*. *J Endod.* **2016**;42(1):145–9.
49. **Wang Z, Shen Y, Ma J, Haapasalo M.** The effect of detergents on the antibacterial activity of disinfecting solutions in dentin. *J Endod.* **2012**;
50. **Hand RE, Smith ML, Harrison JW.** Analysis of the effect of dilution on the necrotic tissue dissolution property of sodium hypochlorite. *J Endod.* **1978**;4(2):60–4.
51. **Moorer WR, Wesselink PR.** Factors promoting the tissue dissolving capability of sodium hypochlorite. *Int Endod J.* **1982**;15(4):187–96.
52. **Zeltner M, Peters OA, Paqué F.** Temperature Changes During Ultrasonic Irrigation with Different Inserts and Modes of Activation. *J Endod.* **2009**;35(4):573–7.

53. **Xavier ACC, Martinho FC, Chung A, Oliveira LD, Jorge AOC, Valera MC, vd.** One-visit versus two-visit root canal treatment: Effectiveness in the removal of endotoxins and cultivable bacteria. *J Endod.* **2013**;39(8):959–64.
54. **Furia TE.** EDTA in foods-technical review. *Food Technol.* **1964**;18(12):1874.
55. **Harris DC.** Quantitative chemical analysis. İçinde: Methods in Geochemistry and Geophysics. Vol. 5. Macmillan; **1971.** s. 89–142.
56. **Hülsmann M, Heckendorff M, Lennon Á.** Chelating agents in root canal treatment: Mode of action and indications for their use. *Int Endod J.* **2003**;36(12):810–30.
57. **Lester KS, Boyde A.** Scanning electron microscopy of instrumented, irrigated and filled root canals. *Br Dent J.* **1977**;143(11):359–67.
58. **Ostby N.** Chelating in root canal therapy. Ethylene-diamine tetraacetic acid for cleansing and widening of root canals. *Odontol Tidskr.* **1957**;65:3–11.
59. **Ozdemir HO, Buzoglu HD, Calt S, Stabholz A, Steinberg D.** Effect of ethylenediaminetetraacetic acid and sodium hypochlorite irrigation on *Enterococcus faecalis* biofilm colonization in young and old human root canal dentin: in vitro study. *J Endod.* **2010**;36(5):842–6.
60. **Soares JA, de Carvalho MAR, Santos SMC, Mendonça RMC, Ribeiro-Sobrinho AP, Brito-Júnior M, vd.** Effectiveness of chemomechanical preparation with alternating use of sodium hypochlorite and EDTA in eliminating intracanal *Enterococcus faecalis* biofilm. *J Endod.* **2010**;36(5):894–8.
61. **Patterson SS.** In vivo and in vitro studies of the effect of the disodium salt of ethylenediamine tetra-acetate on human dentine and its endodontic implications. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol.* **1963**;16(1):83–103.
62. **Yoshida T, Shibata T, Shinohara T, Gomyo S, Sekine I.** Clinical evaluation of the efficacy of EDTA solution as an endodontic irrigant. *J Endod.* **1995**;21(12):592–3.
63. **Basrani B, Tjäderhane L, Santos JM, Pascon E, Grad H, Lawrence HP, vd.** Efficacy of chlorhexidine- and calcium hydroxide-containing medicaments against *Enterococcus faecalis* in vitro. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* **2003**;96(5):618–24.
64. **Cervone F, Tronstad L, Hammond B.** Antimicrobial effect of chlorhexidine in a controlled release delivery system. *Dent Traumatol.* **1990**;6(1):33–6.
65. **Lenet BJ, Komorowski R, Wu XY, Huang J, Grad H, Lawrence HP, vd.** Antimicrobial substantivity of bovine root dentin exposed to different chlorhexidine delivery vehicles. *J Endod.* **2000**;26(11):652–5.
66. **Lindskog S, Pierce AM, Blomlöf L.** Chlorhexidine as a root canal medicament for treating inflammatory lesions in the periodontal space. *Endod Dent Traumatol.* **1998**;14(4):186–90.
67. **Barbosa CAM, Gonçalves RB, Siqueira JF, De Uzeda M.** Evaluation of the antibacterial activities of calcium hydroxide, chlorhexidine, and camphorated paramonochlorophenol as intracanal medicament. A clinical and laboratory study. *J Endod.* **1997**;23(5):297–300.
68. **Ohara P, Torabinejad M, Kettering JD.** Antibacterial effects of various endodontic irrigants on selected anaerobic bacteria. *Dent Traumatol.* **1993**;9(3):95–100.
69. **Rosenthal S, Spångberg L, Safavi K.** Chlorhexidine substantivity in root canal dentin. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology.* **2004**;98(4):488–92.
70. **Haapasalo M, Endal U, Zandi H, Coil JM.** Eradication of endodontic infection by

instrumentation and irrigation solutions. *Endod Top*. **2005**;10(1):77–102.

71. **Loel DA**. Use of acid cleanser in endodontic therapy. *J Am Dent Assoc*. **1975**;90(1):148–51.
72. **Sg P, Rahim N, Ks B, Mathew J**. Comparison of removal of endodontic smear layer using NaOCl, EDTA, and different concentrations of maleic acid-A SEM study. *Endodontology*. **2003**;15:20–5.
73. **Ballal NV, Kandian S, Mala K, Bhat KS, Acharya S**. Comparison of the Efficacy of Maleic Acid and Ethylenediaminetetraacetic Acid in Smear Layer Removal from Instrumented Human Root Canal: A Scanning Electron Microscopic Study. *J Endod*. **2009**;35(11):1573–6.
74. **Ballal N V., Mala K, Bhat KS**. Effect of maleic acid and ethylenediaminetetraacetic acid on the dissolution of human pulp tissue - an in vitro study. *Int Endod J*. **2011**;44(4):353–6.
75. **Bitter NC**. A 25% tannic acid solution as a root canal irrigant cleanser: A scanning electron microscope study. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol*. **1989**;67(3):333–7.
76. **Takahashi H, Okamoto Y, Fujinaka S, Shintani H**. A pilot study of exposure of the smear layer to tannic acid solutions. *J Prosthet Dent*. **1993**;70(3):261–3.
77. **Berry EA, von der Lehr WN, Herrin HK**. Dentin surface treatments for the removal of the smear layer: an SEM study. *J Am Dent Assoc*. **1987**;115(1):65–7.
78. **Stojicic S, Shen Y, Qian W, Johnson B, Haapasalo M**. Antibacterial and smear layer removal ability of a novel irrigant, QMiX. *Int Endod J*. **2012**;45(4):363–71.
79. **Dai L, Khechen K, Khan S, Gillen B, Loushine BA, Wimmer CE, vd.** The effect of QMiX, an experimental antibacterial root canal irrigant, on removal of canal wall smear layer and debris. *J Endod*. **2011**;37(1):80–4.
80. **Torabinejad M, Khademi AA, Babagoli J, Cho Y, Johnson W Ben, Bozhilov K, vd.** A new solution for the removal of the smear layer. *J Endod*. **2003**;29(3):170–5.
81. **Torabinejad M, Shabahang S, Aprecio RM, Kettering JD**. The antimicrobial effect of MTAD: An in vitro investigation. *J Endod*. **2003**;29(6):400–3.
82. **Tay FR, Pashley DH, Loushine RJ, Doyle MD, Gillespie WT, Weller RN, vd.** Ultrastructure of smear layer-covered intraradicular dentin after irrigation with BioPure MTAD. *J Endod*. **2006**;32(3):218–21.
83. **Giardino L, Pecora G, Ambu E, Savoldi E**. A new irrigant in the treatment of apical periodontitis: from research to clinic. İçinde: 12th Biennial Congress European Society of Endodontology, Dublin. **2005**. s. 15–7.
84. **Giardino L, Ambu E, Becce C, Rimondini L, Morra M**. Surface Tension Comparison of Four Common Root Canal Irrigants and Two New Irrigants Containing Antibiotic. *J Endod*. **2006**;32(11):1091–3.
85. **Poggio C, Dagna A, Colombo M, Rizzardi F, Chiesa M, Scribante A, vd.** Decalcifying effect of different ethylenediaminetetraacetic acid irrigating solutions and tetraclean on root canal dentin. *J Endod*. **2012**;38(9):1239–43.
86. **Pierce A, Lindskog S**. The effect of an antibiotic/corticosteroid paste on inflammatory root resorption in vivo. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol*. **1987**;64(2):216–20.
87. **Bryson EC, Levin L, Banchs F, Abbott P V., Trope M**. Effect of immediate intracanal placement of Ledermix Paste® on healing of replanted dog teeth after extended dry times. *Dent Traumatol*. **2002**;18(6):316–21.

88. **Barkhordar RA, Russel T.** Effect of doxycycline on the apical seal of retrograde filling materials. *J Calif Dent Assoc.* **1998**;26(11):842–5.
89. **Molander A, Dahlén G.** Evaluation of the antibacterial potential of tetracycline or erythromycin mixed with calcium hydroxide as intracanal dressing against *Enterococcus faecalis* in vivo. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* **2003**;96(6):744–50.
90. **Spangberg LSW.** Endodontic medicaments. İçinde: Biocompatibility of dental materials. CRC Press Boea Raton, FL; **1982.** s. 223–57.
91. **Möller ÅJR, Fabricius L, Dahlén G, Öhman AE, Heyden G.** Influence on periapical tissues of indigenous oral bacteria and necrotic pulp tissue in monkeys. *Eur J Oral Sci.* **1981**;89(6):475–84.
92. **Kvist T, Molander A, Dahlén G, Reit C.** Microbiological evaluation of one- and two-visit endodontic treatment of teeth with apical periodontitis: A randomized, clinical trial. *J Endod.* **2004**;30(8):572–6.
93. **Torneck CD, Moe H, Howley TP.** The effect of calcium hydroxide on porcine pulp fibroblasts in vitro. *J Endod.* **1983**;9(4):131–6.
94. **Türkün M, Cengiz T.** The effects of sodium hypochlorite and calcium hydroxide on tissue dissolution and root canal cleanliness. *Int Endod J.* **1997**;30(5):335–42.
95. **Safavi KE, Spngberg LSW, Langeland K.** Root canal dentinal tubule disinfection. *J Endod.* **1990**;16(5):207–10.
96. **Safavi KE, Nichols FC.** Alteration of biological properties of bacterial lipopolysaccharide by calcium hydroxide treatment. *J Endod.* **1994**;20(3):127–9.
97. **Safavi KE, Nichols FC.** Effect of calcium hydroxide on bacterial lipopolysaccharide. *J Endod.* **1993**;19(2):76–8.
98. **Çalışkan MK.** Endodontide tanı ve tedaviler. Nobel Tıp Kitabevleri; **2006.** 380–393 s.
99. **Lohbaur U, Dahl U, Dasch W, Petschelt A.** Calcium release and pH of gutta-percha points containing calcium hydroxide. *J Dent Res.* **2001**;80:272.
100. **Sirén E, Lavonius E, Kerosuo E.** Effect of Ca (OH)(2) gutta-percha points on bacteria in root canals. İçinde: JOURNAL OF DENTAL RESEARCH. AMER ASSOC DENTAL RESEARCH USA; **2000.** s. 543.
101. **Ma JZ, Shen Y, Al-Ashaw AJ, Khaleel HY, Yang Y, Wang ZJ, vd.** Micro-computed tomography evaluation of the removal of calcium hydroxide medicament from C-shaped root canals of mandibular second molars. *Int Endod J.* **2015**;48(4):333–41.
102. **Margelos J, Eliades G, Verdelis C, Palaghias G.** Interaction of calcium hydroxide with zinc oxide-eugenol type sealers: A potential clinical problem. *J Endod.* **1997**;23(1):43–8.
103. **Waltimo TMT, Ørstavik D, Sirén EK, Haapasalo MPP.** In vitro susceptibility of *Candida albicans* to four disinfectants and their combinations. *Int Endod J.* **1999**;32(6):421–9.
104. **Bailey DM, DeGrazia CG, Hoff SJ, Schulenberg PL, Connor JRO, Paris DA, vd.** Bispyridinamines: A new class of topical antimicrobial agents as inhibitors of dental plaque. *J Med Chem.* **1984**;27(11):1457–64.
105. **Robrish SA, Emilson CG, Kemp CW, Eberlein D, Bowen WH.** A comparison of viable counts and adenine nucleotide analysis to determine the effect of antimicrobial agents on dental plaque. *Curr Microbiol.* **1981**;5(6):343–347.

106. **Slee AM, O'Connor JR.** In vitro antiplaque activity of octenidine dihydrochloride (WIN 41464-2) against preformed plaques of selected oral plaque-forming microorganisms. *Antimicrob Agents Chemother.* **1983**;23(3):379–84.
107. **Slee AM, O'Connor JR, Bailey DM.** Relationship between structure and antiplaque and antimicrobial activities for a series of bispyridines. *Antimicrob Agents Chemother.* **1983**;23(4):531–535.
108. **Emilson CG, Bowen WH, Robrish SA, Kemp CW.** Effect of the antibacterial agents octenidine and chlorhexidine on the plaque flora in primates. *Eur J Oral Sci.* **1981**;89(5):384–92.
109. **Patters MR, Ånerud K, Trummel CL, Kornman KS, Nalbandian J, Robertson PB.** Inhibition of plaque formation in humans by octenidine mouthrinse. *J Periodontal Res.* **1983**;18(2):212–9.
110. **Susila A, Minu J.** Activated irrigation vs. Conventional non-activated irrigation in endodontics – A systematic review. *Eur Endod J.* **2019**;4(3):96–110.
111. **Boutsioukis C, Lambrianidis T, Kastrinakis E.** Irrigant flow within a prepared root canal using various flow rates: A Computational Fluid Dynamics study. *Int Endod J.* **2009**;42(2):144–55.
112. **McGill S, Gulabivala K, Mordan N, Ng YL.** The efficacy of dynamic irrigation using a commercially available system (RinsEndo®) determined by removal of a collagen “bio-molecular film” from an ex vivo model. *Int Endod J.* **2008**;41(7):602–8.
113. **Mickel AK, Chogle S, Liddle J, Huffaker K, Jones JJ.** The Role of Apical Size Determination and Enlargement in the Reduction of Intracanal Bacteria. *J Endod.* **2007**;33(1):21–3.
114. **Nguy D, Sedgley C.** The Influence of Canal Curvature on the Mechanical Efficacy of Root Canal Irrigation In Vitro Using Real-Time Imaging of Bioluminescent Bacteria. *J Endod.* **2006**;32(11):1077–80.
115. **Gu L sha, 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.
116. **Al-Hadlaq SM, Al-Turaiki SA, Al-Sulami U, Saad AY.** Efficacy of a New Brush-Covered Irrigation Needle in Removing Root Canal Debris: A Scanning Electron Microscopic Study. *J Endod.* **2006**;32(12):1181–4.
117. **Huang TY, Gulabivala K, Ng YL.** A bio-molecular film ex-vivo model to evaluate the influence of canal dimensions and irrigation variables on the efficacy of irrigation. *Int Endod J.* **2008**;41(1):60–71.
118. **Van Der Sluis LWM, Wu MK, Wesselink PR.** The efficacy of ultrasonic irrigation to remove artificially placed dentine debris from human root canals prepared using instruments of varying taper. *Int Endod J.* **2005**;38(10):764–8.
119. **Caron G.** Cleaning efficiency of the apical millimeters of curved canals using three different modalities of irrigant activation: an SEM study. Paris VII University; **2007**.
120. **Ruddle CJ.** Microbrush for endodontic use. *Washington, DC United States Pat 6,179,617*; **2001**. **2001**;
121. **Weise M, Roggendorf M, Ebert J, Petschelt A, Frankenberger R.** Four methods for cleaning simulated lateral extensions of curved root canals: A SEM evaluation. *Int Endod J.* **2007**;40:991–2.

122. **Walters MJ, Baumgartner JC, Marshall JG.** Efficacy of irrigation with rotary instrumentation. *J Endod.* **2002**;28(12):837–9.
123. **Setlock J, Fayad MI, BeGole E, Bruzick M.** Evaluation of canal cleanliness and smear layer removal after the use of the Quantec-E irrigation system and syringe: A comparative scanning electron microscope study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* **2003**;96(5):614–7.
124. **Desai P, Himel V.** Comparative Safety of Various Intracanal Irrigation Systems. *J Endod.* **2009**;35(4):545–9.
125. **Van Der Sluis LWM, Versluis M, Wu MK, Wesselink PR.** Passive ultrasonic irrigation of the root canal: A review of the literature. *Int Endod J.* **2007**;40(6):415–26.
126. **Mayer BE, Peters OA, Barbakow F.** Effects of rotary instruments and ultrasonic irrigation on debris and smear layer scores: A scanning electron microscopic study. *Int Endod J.* **2002**;35(7):582–9.
127. **Silva EJNL, Rover G, Belladonna FG, Herrera DR, De-Deus G, da Silva Fidalgo TK.** Effectiveness of passive ultrasonic irrigation on periapical healing and root canal disinfection: a systematic review. *Br Dent J.* **2019**;227(3):228–34.
128. **Weller RN, Brady JM, Bernier WE.** Efficacy of ultrasonic cleaning. *J Endod.* **1980**;6(9):740–3.
129. **Ahmad M, Pitt Ford TR, Crum LA.** Ultrasonic debridement of root canals: Acoustic streaming and its possible role. *J Endod.* **1987**;13(10):490–9.
130. **Virdee SS, Seymour DW, Farnell D, Bhamra G, Bhakta S.** Efficacy of irrigant activation techniques in removing intracanal smear layer and debris from mature permanent teeth: a systematic review and meta-analysis. *Int Endod J.* **2018**;51(6):605–21.
131. **Hülsmann M, Hahn W.** Complications during root canal irrigation - Literature review and case reports. *Int Endod J.* **2000**;33(3):186–93.
132. **Nielsen BA, Craig Baumgartner J.** Comparison of the EndoVac System to Needle Irrigation of Root Canals. *J Endod.* **2007**;33(5):611–5.
133. **George R, Meyers IA, Walsh LJ.** Laser Activation of Endodontic Irrigants with Improved Conical Laser Fiber Tips for Removing Smear Layer in the Apical Third of the Root Canal. *J Endod.* **2008**;34(12):1524–7.
134. **De Groot SD, Verhaagen B, Versluis M, Wu MK, Wesselink PR, Van Der Sluis LWM.** Laser-activated irrigation within root canals: Cleaning efficacy and flow visualization. *Int Endod J.* **2009**;42(12):1077–83.
135. **Blanken J, De Moor RJG, 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(7):514–9.
136. **DiVito E, Peters OA, 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.* **2012**;27(2):273–80.
137. **Hata G, Hayami S, Weine FS, Toda T.** Effectiveness of oxidative potential water as a root canal irrigant. *Int Endod J.* **2001**;34(4):308–17.
138. **Serper A, Calt S, Dogan AL, Guc D, Ozcelik B, Kuraner T.** Comparison of the cytotoxic effects and smear layer removing capacity of oxidative potential water, NaOCl and EDTA. *J Oral Sci.* **2001**;43(4):233–8.

139. **Marais JT, Brözel VS.** Electro-chemically activated water in dental unit water lines. *Br Dent J.* **1999**;187(3):154–158.
140. **Frais S, Ng YL, Gulabivala K.** Some factors affecting the concentration of available chlorine in commercial sources of sodium hypochlorite. *Int Endod J.* **2001**;34(3):206–15.
141. **Saafan A, Zaazou MH, Sallam MK, Mosallam O, El Danaf HA.** Assessment of photodynamic therapy and nanoparticles effects on caries models. *Open Access Maced J Med Sci.* **2018**;6(7):1289–95.
142. **Cao W, Zhang Y, Wang X, Li Q, Xiao Y, Li P, vd.** Novel resin-based dental material with anti-biofilm activity and improved mechanical property by incorporating hydrophilic cationic copolymer functionalized nanodiamond. *J Mater Sci Mater Med.* **2018**;29(11):162.
143. **Haapasalo M, Wang Z, Shen Y, Curtis A, Patel P, Khakpour M.** Tissue dissolution by a novel Multisonic Ultracleaning system and sodium hypochlorite. *J Endod.* **2014**;40(8):1178–81.
144. **Garcia-Diaz M, Huang YY, Hamblin MR.** Use of fluorescent probes for ROS to tease apart Type I and Type II photochemical pathways in photodynamic therapy. *Methods.* **2016**;109:158–66.
145. **Anagnostaki E, Mylona V, Parker S, Lynch E, Grootveld M.** Systematic Review on the Role of Lasers in Endodontic Therapy: Valuable Adjunct Treatment? *Dent J.* **2020**;8(3):63.
146. **Diogo P, Faustino MFA, Neves GMPMS, Palma PJ, Baptista IP, Gonçalves T, vd.** An insight into advanced approaches for photosensitizer optimization in endodontics—a critical review. *J Funct Biomater.* **2019**;10(4):44.
147. **Dai T, Huang YY, Hamblin MR.** Photodynamic therapy for localized infections-State of the art. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* **2009**;6(3–4):170–88.
148. **Foote CS.** Definition of type I and type II photosensitized oxidation. *Photochem Photobiol.* **1991**;54(5):659.
149. **Kalka K, Merk H, Mukhtar H.** Photodynamic therapy in dermatology. *J Am Acad Dermatol.* **2000**;42(3):389–413.
150. **Lyon JP, Moreira LM, de Moraes PCG, dos Santos FV, de Resende MA.** Photodynamic therapy for pathogenic fungi. *Mycoses.* **2011**;54(5):e265-71.
151. **De Rosa FS, Bentley MVLB.** Photodynamic therapy of skin cancers: Sensitizers, clinical studies and future directives. *Pharm Res.* **2000**;17:1447–1455.
152. **Moreira LM, Dos Santos FV, Lyon JP, Maftoum-Costa M, Pacheco-Soares C, Soares Da Silva N.** Photodynamic therapy: Porphyrins and phthalocyanines as photosensitizers. *Aust J Chem.* **2008**;61(10):741–754.
153. **Sharman WM, Allen CM, van Lier JE.** Photodynamic therapeutics: basic principles and clinical applications. *Drug Discov Today.* **1999**;4(11):507–17.
154. **Lee MT, Bird PS, Walsh LJ.** Photo-Activated Disinfection Of The Root Canal: A New Role For Lasers In Endodontics. *Aust Endod J.* **2004**;30(3):93–8.
155. **Takasaki AA, Aoki A, Mizutani K, Schwarz F, Sculean A, Wang C-Y, vd.** Application of antimicrobial photodynamic therapy in periodontal and peri-implant diseases. *Periodontol 2000.* **2009**;51:109–40.
156. **Wainwright M.** Photodynamic antimicrobial chemotherapy (PACT). *J Antimicrob Chemother.* **1998**;42(1):13–28.

157. **Maisch T, Szeimies RM, Jori G, Abels C.** Antibacterial photodynamic therapy in dermatology. *Photochem Photobiol Sci.* **2004**;3(10):907–17.
158. **Babilas P, Schreml S, Landthaler M, Szeimies RM.** Photodynamic therapy in dermatology: State-of-the-art. *Photodermatol Photoimmunol Photomed.* **2010**;26(3):118–32.
159. **Allison RR, Downie GH, Cuenca R, Hu XH, Childs CJH, Sibata CH.** Photosensitizers in clinical PDT. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* **2004**;1(1):27–42.
160. **Chiniforush N, Pourhajibagher M, Shahabi S, Bahador A.** Clinical approach of high technology techniques for control and elimination of endodontic microbiota. *J Lasers Med Sci.* **2015**;6(4):139–50.
161. **DeRosa MC, Crutchley RJ.** Photosensitized singlet oxygen and its applications. *Coord Chem Rev.* **2002**;233–234:351–71.
162. **Meisel P, Kocher T.** Photodynamic therapy for periodontal diseases: State of the art. *J Photochem Photobiol B Biol.* **2005**;79(2):159–70.
163. **Sigusch BW, Pfitzner A, Albrecht V, Glockmann E.** Efficacy of Photodynamic Therapy on Inflammatory Signs and Two Selected Periodontopathogenic Species in a Beagle Dog Model. *J Periodontol.* **2005**;76(7):1100–5.
164. **Pinheiro SL, Schenka AA, Neto AA, De Souza CP, Rodriguez HMH, Ribeiro MC.** Photodynamic therapy in endodontic treatment of deciduous teeth. *Lasers Med Sci.* **2008**;24(4):521–6.
165. **Nagata JY, Hioka N, Kimura E, Batistela VR, Terada RSS, Graciano AX, vd.** Antibacterial photodynamic therapy for dental caries: Evaluation of the photosensitizers used and light source properties. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* **2012**;9(2):122–31.
166. **Neelakantan P, Cheng CQ, Ravichandran V, Mao T, Sriraman P, Sridharan S, vd.** Photoactivation of curcumin and sodium hypochlorite to enhance antibiofilm efficacy in root canal dentin. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* **2015**;12(1):108–14.
167. **Gomes-Filho JE, Sivieri-Araujo G, Sipert CR, da Silva Santos LM, de Azevedo Queiroz ÍO, Men Martins C, vd.** Evaluation of photodynamic therapy on fibroblast viability and cytokine production. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* **2016**;13:97–100.
168. **Santezi C, Reina BD, Dovigo LN.** Curcumin-mediated Photodynamic Therapy for the treatment of oral infections—A review. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* **2018**;21:409–15.
169. **Ball DJ, Luo Y, Kessel D, Griffiths J, Brown SB, Vernon DI.** The induction of apoptosis by a positively charged methylene blue derivative. *J Photochem Photobiol B Biol.* **1998**;42(2):159–63.
170. **Severino D, Junqueira HC, Gugliotti M, Gabrielli DS, Baptista MS.** Influence of Negatively Charged Interfaces on the Ground and Excited State Properties of Methylene Blue. *Photochem Photobiol.* **2003**;77(5):459–68.
171. **Usacheva MN, Teichert MC, Biel MA.** The role of the methylene blue and toluidine blue monomers and dimers in the photoinactivation of bacteria. *J Photochem Photobiol B Biol.* **2003**;71(1–3):87–98.
172. **Bergmans L, Moisiadis P, Huybrechts B, Van Meerbeek B, Quirynen M, Lambrechts P.** Effect of photo-activated disinfection on endodontic pathogens ex vivo. *Int Endod J.* **2008**;41(3):227–39.
173. **Nagayoshi M, Nishihara T, Nakashima K, Iwaki S, Chen K-K, Terashita M, vd.** Bactericidal Effects of Diode Laser Irradiation on *Enterococcus faecalis* Using Periapical

Lesion Defect Model. *ISRN Dent.* **2011**;2011:870364.

174. **Poggio C, Arciola CR, Dagna A, Florindi F, Chiesa M, Saino E, vd.** Photoactivated disinfection (PAD) in endodontics: An in vitro microbiological evaluation. *Int J Artif Organs.* **2011**;34(9):889–97.
175. **Vaziri S, Kangarlou A, Shahbazi R, Nazari Nasab A, Naseri M.** Comparison of the bactericidal efficacy of photodynamic therapy, 2.5% sodium hypochlorite, and 2% chlorhexidine against *Enterococcus faecalis* in root canals; an in vitro study. *Dent Res J (Isfahan).* **2012**;9(5):613–8.
176. **Bago I, Plečko V, Gabrić Pandurić D, Schauperl Z, Baraba A, Anić I.** Antimicrobial efficacy of a high-power diode laser, photo-activated disinfection, conventional and sonic activated irrigation during root canal treatment. *Int Endod J.* **2013**;46(4):339–47.
177. **Wilson M, Dobson J, Sarkar S.** Sensitization of periodontopathogenic bacteria to killing by light from a low-power laser. *Oral Microbiol Immunol.* **1993**;8(3):182–7.
178. **Wainwright M, Phoenix DA, Marland J, Wareing DRA, Bolton FJ.** A study of photobactericidal activity in the phenothiazinium series. *FEMS Immunol Med Microbiol.* **1997**;19(1):75–80.
179. **Giusti JSM, Santos-Pinto L, Pizzolito AC, Helmersen K, Carvalho-Filho E, Kurachi C, vd.** Antimicrobial photodynamic action on dentin using a light-emitting diode light source. *Photomed Laser Surg.* **2008**;26(4):281–7.
180. **Wilson BC, Patterson MS.** The physics, biophysics and technology of photodynamic therapy. *Phys Med Biol.* **2008**;53(9):R61–109.
181. **Klotz LO, Pellioux C, Briviba K, Pierlot C, Aubry JM, Sies H.** Mitogen-activated protein kinase (p38-, JNK-, ERK-) activation pattern induced by extracellular and intracellular singlet oxygen and uva. *Eur J Biochem.* **1999**;260(3):917–22.
182. **Nagai Y, Suzuki A, Katsuragi H, Shinkai K.** Effect of antimicrobial photodynamic therapy (aPDT) on the sterilization of infected dentin in vitro. *Odontology.* **2018**;106(2):154–61.
183. **Kübler AC.** Photodynamic therapy. *Med Laser Appl.* **2005**;20(1):37–45.
184. **Jerjes W, Upile T, Betz CS, El Maaytah M, Abbas S, Wright A, vd.** The application of photodynamic therapy in the head and neck. *Dent Update.* **2007**;34(8):478–480,483–484,486.
185. **Usacheva MN, Teichert MC, Biel MA.** Comparison of the methylene blue and toluidine blue photobactericidal efficacy against gram-positive and gram-negative microorganisms. *Lasers Surg Med.* **2001**;29(2):165–73.
186. **Hayek RRA, Araújo NS, Gioso MA, Ferreira J, Baptista-Sobrinho CA, Yamada AM, vd.** Comparative Study Between the Effects of Photodynamic Therapy and Conventional Therapy on Microbial Reduction in Ligature-Induced Peri-Implantitis in Dogs. *J Periodontol.* **2005**;76(8):1275–81.
187. **Neugebauer J.** Using photodynamic therapy to treat peri-implantitis. Interview. *Dent Implantol Update.* **2005**;16(2):9–16.
188. **Sarkar S, Wilson M.** Lethal photosensitization of bacteria in subgingival plaque from patients with chronic periodontitis. *J Periodontal Res.* **1993**;28(3):204–10.
189. **Zanin ICJ, Gonçalves RB, Junior AB, Hope CK, Pratten J.** Susceptibility of *Streptococcus mutans* biofilms to photodynamic therapy: An in vitro study. *J Antimicrob Chemother.* **2005**;56(2):324–30.

190. **Zanin ICJ, Lobo MM, Rodrigues LKA, Pimenta LAF, Höfling JF, Gonçalves RB.** Photosensitization of in vitro biofilms by toluidine blue O combined with a light-emitting diode. *Eur J Oral Sci.* **2006**;114(1):64–9.
191. **Fontana CR, Abernethy AD, Som S, Ruggiero K, Doucette S, Marcantonio RC, vd.** The antibacterial effect of photodynamic therapy in dental plaque-derived biofilms. *J Periodontal Res.* **2009**;44(6):751–9.
192. **Metcalf D, Robinson C, Devine D, Wood SR.** Enhancement of erythrosine-mediated photodynamic therapy of *Streptococcus mutans* biofilms by light fractionation. *J Antimicrob Chemother.* **2006**;58(1):190–192.
193. **Soukos NS, Ximenez-Fyvie LA, Hamblin MR, Socransky SS, Hasan T.** Targeted antimicrobial photochemotherapy. *Antimicrob Agents Chemother.* **1998**;42(10):2595–601.
194. **Dörtbudak O, Haas R, Bernhart T, Mailath-Pokorny G.** Lethal photosensitization for decontamination of implant surfaces in the treatment of peri-implantitis. *Clin Oral Implants Res.* **2001**;12(2):104–8.
195. **Wilson M.** Bactericidal effect of laser light and its potential use in the treatment of plaque-related diseases. *Int Dent J.* **1994**;44(2):181–9.
196. **Bevilacqua IM, Nicolau RA, Khouri S, Brugnera A, Teodoro GR, Zângaro RA, vd.** The impact of photodynamic therapy on the viability of *Streptococcus mutans* in a planktonic culture. *Photomed Laser Surg.* **2007**;25(6):513–8.
197. **Fimple JL, Fontana CR, Foschi F, Ruggiero K, Song X, Pagonis TC, vd.** Photodynamic Treatment of Endodontic Polymicrobial Infection In Vitro. *J Endod.* **2008**;34(6):728–34.
198. **Garcez AS, Arantes-Neto JG, Sellera DP, Fregnani ER.** Effects of antimicrobial photodynamic therapy and surgical endodontic treatment on the bacterial load reduction and periapical lesion healing. Three years follow up. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* **2015**;12(4):575–80.
199. **Siqueira JF, Rôças IN.** Optimising single-visit disinfection with supplementary approaches: A quest for predictability. *Aust Endod J.* **2011**;37(3):92–8.
200. **Silva LAB, Novaes AB, De Oliveira RR, Nelson-Filho P, Santamaria M, Silva RAB.** Antimicrobial photodynamic therapy for the treatment of teeth with apical periodontitis: A histopathological evaluation. *J Endod.* **2012**;38(3):360–6.
201. **Pourhajibagher M, Ghorbanzadeh R, Parker S, Chiniforush N, Bahador A.** The evaluation of cultivable microbiota profile in patients with secondary endodontic infection before and after photo-activated disinfection. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* **2017**;18:198–203.
202. **Tennert C, Drews AM, Walther V, Altenburger MJ, Karygianni L, Wrbas KT, vd.** Ultrasonic activation and chemical modification of photosensitizers enhances the effects of photodynamic therapy against *Enterococcus faecalis* root-canal isolates. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* **2015**;12(2):244–51.
203. **Figueiredo RA, Anami LC, Mello I, Carvalho EDS, Habitante SM, Raldi DP.** Tooth discoloration induced by endodontic phenothiazine dyes in photodynamic therapy. *Photomed Laser Surg.* **2014**;32(8):458–62.
204. **Shahravan A, Haghdoust AA, Adl A, Rahimi H, Shadifar F.** Effect of Smear Layer on Sealing Ability of Canal Obturation: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Endod.* **2007**;33(2):96–105.
205. **Souza MA, Pazinato B, Bischoff KF, Palhano HS, Cecchin D, de Figueiredo JAP.**

- Influence of ultrasonic activation over final irrigants in the removal of photosensitizer from root canal walls after photodynamic therapy. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* **2017**;17:216–20.
206. **George S, Kishen A.** Photophysical, photochemical, and photobiological characterization of methylene blue formulations for light-activated root canal disinfection. *J Biomed Opt.* **2007**;12(3):034029.
 207. **Xu Y, Young MJ, Battaglino RA, Morse LR, Fontana CR, Pagonis TC, vd.** Endodontic antimicrobial photodynamic therapy: safety assessment in mammalian cell cultures. *J Endod.* **2009**;35(11):1567–72.
 208. **Carvalho E dos S, Mello I, Albergaria SJ, Habitante SM, Lage-Marques JL, Raldi DP.** Effect of Chemical Substances in Removing Methylene Blue After Photodynamic Therapy in Root Canal Treatment. *Photomed Laser Surg.* **2011**;29(8):559–63.
 209. **Nunes MR, Mello I, Franco GCN, de Medeiros JMF, dos Santos SSF, Habitante SM, vd.** Effectiveness of Photodynamic Therapy Against *Enterococcus faecalis*, With and Without the Use of an Intracanal Optical Fiber: An In Vitro Study. *Photomed Laser Surg.* **2011**;29(12):803–8.
 210. **Garcez AS, Núñez SC, Azambuja Jr N, Fregnani ER, Rodriguez HMH, Hamblin MR, vd.** Effects of photodynamic therapy on Gram-positive and Gram-negative bacterial biofilms by bioluminescence imaging and scanning electron microscopic analysis. *Photomed Laser Surg.* 2013/07/03. **2013**;31(11):519–25.
 211. **Rodrigues LM, Vansan LP, Pécora JD, Marchesan MA.** Permeability of different groups of maxillary teeth after 38% hydrogen peroxide internal bleaching . C. 20, Brazilian Dental Journal . scielo ; **2009**. s. 303–6.
 212. **Douglas RD, Steinhauer TJ, Wee AG.** Intraoral determination of the tolerance of dentists for perceptibility and acceptability of shade mismatch. *J Prosthet Dent.* **2007**;97(4):200–8.
 213. **Afrasiabi S, Pourhajibagher M, Chiniforush N, Aminian M, Bahador A.** Anti-biofilm and anti-metabolic effects of antimicrobial photodynamic therapy using chlorophyllin-phycocyanin mixture against *Streptococcus mutans* in experimental biofilm caries model on enamel slabs. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* **2020**;29:101620.
 214. **Ruyter IE, Nilner K, Möller B.** Color stability of dental composite resin materials for crown and bridge veneers. *Dent Mater.* **1987**;3(5):246–51.
 215. **Figueiredo RA, Anami LC, Mello I, Carvalho E dos S, Habitante SM, Raldi DP.** Tooth discoloration induced by endodontic phenothiazine dyes in photodynamic therapy. *Photomed Laser Surg.* **2014**;32(8):458–62.
 216. **Becker GL, Cohen S, Borer R.** The sequelae of accidentally injecting sodium hypochlorite beyond the root apex. Report of a case. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol.* **1974**;38(4):633–8.
 217. **Beltz RE, Torabinejad M, Pouresmail M.** Quantitative analysis of the solubilizing action of MTAD, sodium hypochlorite, and EDTA on bovine pulp and dentin. *J Endod.* **2003**;29(5):334–7.
 218. **Heling I, Rotstein I, Dinur T, Szwec-Levine Y, Steinberg D.** Bactericidal and cytotoxic effects of sodium hypochlorite and sodium dichloroisocyanurate solutions in vitro. *J Endod.* **2001**;27(4):278–80.
 219. **Prażmo EJ, Godlewska RA, Mielczarek AB.** Effectiveness of repeated photodynamic therapy in the elimination of intracanal *Enterococcus faecalis* biofilm: an in vitro study. *Lasers Med Sci.* **2017**;32(3):655–661.

220. **Kreisler M, Kohnen W, Beck M, Al Haj H, Christoffers AB, Götz H, vd.** Efficacy of NaOCl/H₂O₂ irrigation and GaAlAs laser in decontamination of root canals in vitro. *Lasers Surg Med.* **2003**;32(3):189–96.
221. **Sarda RA, Shetty RM, Tamrakar A, Shetty SY.** Antimicrobial efficacy of photodynamic therapy, diode laser, and sodium hypochlorite and their combinations on endodontic pathogens. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* **2019**;28:265–72.
222. **Sohrabi K, Sooratgar A, Zolfagharnasab K, Kharazifard MJ, Afkhami F.** Antibacterial activity of diode laser and sodium hypochlorite in enterococcus faecalis-contaminated root canals. *Iran Endod J.* **2016**;11(1):8–12.
223. **Chiniforush N, Pourhajibagher M, Shahabi S, Kosarieh E, Bahador A.** Can antimicrobial photodynamic therapy (aPDT) enhance the endodontic treatment? *J Lasers Med Sci.* **2016**;7(2):76–85.
224. **Trindade AC, de Figueiredo JAP, de Oliveira SD, Barth Junior VC, Gallo SW, Follmann C, vd.** Histopathological, Microbiological, and Radiographic Analysis of Antimicrobial Photodynamic Therapy for the Treatment of Teeth with Apical Periodontitis: A Study in Rats' Molars. *Photomed Laser Surg.* **2017**;35(7):364–71.
225. **Bordea IR, Hanna R, Chiniforush N, Grădinaru E, Câmpian RS, Sîrbu A, vd.** Evaluation of the outcome of various laser therapy applications in root canal disinfection: A systematic review. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* **2020**;29:101611.
226. **Williams JA, Pearson GJ, John Colles M.** Antibacterial action of photoactivated disinfection {PAD} used on endodontic bacteria in planktonic suspension and in artificial and human root canals. *J Dent.* **2006**;34(6):363–71.
227. **Silva Garcez A, Núñez SC, Lage-Marques JL, Jorge AOC, Ribeiro MS.** Efficiency of NaOCl and laser-assisted photosensitization on the reduction of Enterococcus faecalis in vitro. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology.* **2006**;102(4):e93-8.
228. **Wainwright M.** Methylene blue derivatives - Suitable photoantimicrobials for blood product disinfection? *Int J Antimicrob Agents.* **2000**;16(4):381–94.
229. **Afkhami F, Karimi M, Bahador A, Ahmadi P, Pourhajibagher M, Chiniforush N.** Evaluation of antimicrobial photodynamic therapy with toluidine blue against Enterococcus faecalis: Laser vs LED. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* **2020**;32:102036.
230. **Singh S, Nagpal R, Manuja N, Tyagi SP.** Photodynamic therapy: An adjunct to conventional root canal disinfection strategies. *Aust Endod J.* **2015**;41(2):54–71.
231. **Pourhajibagher M, Kazemian H, Chiniforush N, Hosseini N, Pourakbari B, Azizollahi A, vd.** Exploring different photosensitizers to optimize elimination of planktonic and biofilm forms of Enterococcus faecalis from infected root canal during antimicrobial photodynamic therapy. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* **2018**;24:206–11.
232. **Plotino G, Grande NM, Mercade M.** Photodynamic therapy in endodontics. *Int Endod J.* **2019**;52(6):760–74.
233. **George S, Hamblin MR, Kishen A.** Uptake pathways of anionic and cationic photosensitizers into bacteria. *Photochem Photobiol Sci.* **2009**;8(6):788–795.
234. **Pourhajibagher M, Chiniforush N, Shahabi S, Palizvani M, Bahador A.** Antibacterial and Antibiofilm Efficacy of Antimicrobial Photodynamic Therapy Against Intracanal Enterococcus faecalis: An In Vitro Comparative Study with Traditional Endodontic Irrigation Solutions. *J Dent (Tehran).* **2018**;15(4):197–204.
235. **Chrepa V, Kotsakis GA, Pagonis TC, Hargreaves KM.** The Effect of Photodynamic

- Therapy in Root Canal Disinfection: A Systematic Review. *J Endod.* **2014**;40(7):891–8.
236. **Gergova RT, Gueorgieva T, Dencheva-Garova MS, Krasteva-Panova AZ, Kalchinov V, Mitov I, vd.** Antimicrobial activity of different disinfection methods against biofilms in root canals. *J Investig Clin Dent.* **2016**;7(3):254–62.
 237. **Asnaashari M, Mojahedi SM, Asadi Z, Azari-Marhabi S, Maleki A.** A comparison of the antibacterial activity of the two methods of photodynamic therapy (using diode laser 810 nm and LED lamp 630 nm) against *Enterococcus faecalis* in extracted human anterior teeth. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* **2016**;13:233–7.
 238. **Asnaashari M, Ashraf H, Rahmati A, Amini N.** A comparison between effect of photodynamic therapy by LED and calcium hydroxide therapy for root canal disinfection against *Enterococcus faecalis*: A randomized controlled trial. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* **2017**;17:226–32.
 239. **Eldeniz AU, Guneser MB, Akbulut MB.** Comparative antifungal efficacy of light-activated disinfection and octenidine hydrochloride with contemporary endodontic irrigants. *Lasers Med Sci.* **2015**;30(2):669–75.
 240. **Rabello DGD, Corazza BJM, Ferreira LL, Santamaria MP, Gomes APM, Martinho FC.** Does supplemental photodynamic therapy optimize the disinfection of bacteria and endotoxins in one-visit and two-visit root canal therapy? A randomized clinical trial. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* **2017**;19:205–11.
 241. **Camacho-Alonso F, Julián-Belmonte E, Chiva-García F, Martínez-Beneyto Y.** Bactericidal Efficacy of Photodynamic Therapy and Chitosan in Root Canals Experimentally Infected with *Enterococcus faecalis*: An in Vitro Study. *Photomed Laser Surg.* **2017**;35(4):184–9.
 242. **Diogo P, Fernandes C, Caramelo F, Mota M, Miranda IM, Faustino MAF, vd.** Antimicrobial photodynamic therapy against endodontic *Enterococcus faecalis* and *Candida albicans* mono and mixed biofilms in the presence of photosensitizers: A comparative study with classical endodontic irrigants. *Front Microbiol.* **2017**;30(8):498.
 243. **Seal GJ, Ng YL, Spratt D, Bhatti M, Gulabivala K.** An in vitro comparison of the bactericidal efficacy of lethal photosensitization or sodium hypochlorite irrigation on *Streptococcus intermedius* biofilms in root canals. *Int Endod J.* **2002**;35(3):268–74.
 244. **Soukos NS, Chen PSY, Morris JT, Ruggiero K, Abernethy AD, Som S, vd.** Photodynamic Therapy for Endodontic Disinfection. *J Endod.* **2006**;32(10):979–84.
 245. **Fonseca MB, Tessare PO, Pallota RC, Filho HF, Denardin OVP, Rapoport A, vd.** Photodynamic therapy for root canals infected with *Enterococcus faecalis*. *Photomed Laser Surg.* **2008**;26(3):209–13.
 246. **Meire MA, De Prijck K, Coenye T, Nelis HJ, De Moor RJG.** Effectiveness of different laser systems to kill *Enterococcus faecalis* in aqueous suspension and in an infected tooth model. *Int Endod J.* **2009**;42(4):351–9.
 247. **Sabino CP, Garcez AS, Núñez SC, Ribeiro MS, Hamblin MR.** Real-time evaluation of two light delivery systems for photodynamic disinfection of *Candida albicans* biofilm in curved root canals. *Lasers Med Sci.* **2015**;30(6):1657–65.
 248. **Sin JH, Walsh LJ, Figueredo CM, George R.** Evaluation of effectiveness of photosensitizers used in laser endodontics disinfection: A systematic review. *Transl Biophotonics.* **2020**;e202000007.
 249. **Hamblin MR, Abrahamse H.** Inorganic salts and antimicrobial photodynamic therapy: Mechanistic conundrums? *Molecules.* **2018**;23(12):3190.

250. **Soukos NS, Chen PS-Y, Morris JT, Ruggiero K, Abernethy AD, Som S, vd.** Photodynamic Therapy for Endodontic Disinfection. *J Endod.* **2006**;32(10):979–84.
251. **Coelho MS, Vilas-Boas L, Tawil PZ.** The effects of photodynamic therapy on postoperative pain in teeth with necrotic pulps. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* **2019**;27:396–401.
252. **Jurić IB, Plečko V, Pandurić DG, Anić I.** The antimicrobial effectiveness of photodynamic therapy used as an addition to the conventional endodontic re-treatment: A clinical study. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* **2014**;11(4):549–55.
253. **Silva EJ, Coutinho-Filho WP, Andrade AO, Herrera DR, Coutinho-Filho TS, Krebs RL.** Evaluation of photodynamic therapy using a diode laser and different photosensitizers against enterococcus faecalis. *Acta Odontol Latinoam.* **2014**;27(2):63–5.
254. **Aytac Bal F, Ozkocak I, Cadirci BH, Sirin Karaarslan E, Cakdinleyen M, Agaccioglu M.** Effects of photodynamic therapy with indocyanine green on Streptococcus mutans biofilm. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* **2019**;26:229–34.
255. **Garcez AS, Nuñez SC, Hamblin MR, Ribeiro MS.** Antimicrobial Effects of Photodynamic Therapy on Patients with Necrotic Pulps and Periapical Lesion. *J Endod.* **2008**;34(2):138–42.
256. **Pinheiro SL, Donegá JM, Seabra LMS, Adabo MD, Lopes T, Do Carmo THD, vd.** Capacity of photodynamic therapy for microbial reduction in periodontal pockets. *Lasers Med Sci.* **2010**;25(1):87–91.
257. **Costa LM, Matos FDS, Correia AMYDO, Carvalho NC, Faria-E-Silva AL, Paranhos LR, vd.** Tooth color change caused by photosensitizers after photodynamic therapy: An in vitro study. *J Photochem Photobiol B Biol.* **2016**;160:225–8.
258. **Carvalho EDS, Mello I, Albergaria SJ, Habitante SM, Lage-Marques JL, Raldi DP.** Effect of chemical substances in removing methylene blue after photodynamic therapy in root canal treatment. *Photomed Laser Surg.* **2011**;29(8):559–63.
259. **Johnston WM.** Color measurement in dentistry. *J Dent.* **2009**;37:e2-6.
260. **Joiner A, Luo W.** Tooth colour and whiteness: A review. *J Dent.* **2017**;67S:S3–10.
261. **Ozkocak I, Hekim M, Gokturk H, Adem K, Comert O.** The assessment of different bleaching agents' efficiency on discoloured teeth using image-processing methods. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* **2020**;31:101901.
262. **Kohli MR, Yamaguchi M, Setzer FC, Karabucak B.** Spectrophotometric analysis of coronal tooth discoloration induced by various bioceramic cements and other endodontic materials. *J Endod.* **2015**;41(11):1862–6.
263. **Chen H, Huang J, Dong X, Qian J, He J, Qu X, vd.** A systematic review of visual and instrumental measurements for tooth shade matching. *Quintessence Int.* **2012**;43(8):649–59.
264. **Olms C, Setz JM.** The repeatability of digital shade measurement-a clinical study. *Clin Oral Investig.* **2013**;17(4):1161–6.
265. **Guerra F, Mazur M, Corridore D, Pasqualotto D, Nardi GM, Ottolenghi L.** Evaluation of the esthetic properties of developmental defects of enamel: A spectrophotometric clinical study. *Sci World J.* **2015**;2015.
266. **Elamin HO, Abubakr NH, Ibrahim YE.** Identifying the tooth shade in group of patients using Vita Easyshade. *Eur J Dent.* **2015**;9(2):213–7.
267. **Raoufi S, Birkhed D.** Effect of whitening toothpastes on tooth staining using two different colour-measuring devices--a 12-week clinical trial. *Int Dent J.* **2010**;60(6):419–23.

268. **Gatelli G, Bortolini MCT.** O Uso Da Clorexidina Como Solução Irrigadora em Endodontia. *Rev UNINGÁ.* **2014**;20(1):119–22.
269. **Byström A, Sunqvist G.** The antibacterial action of sodium hypochlorite and EDTA in 60 cases of endodontic therapy. *Int Endod J.* **1985**;18(1):35–40.
270. **Van Der Sluis LWM, Gambarini G, Wu MK, Wesselink PR.** The influence of volume, type of irrigant and flushing method on removing artificially placed dentine debris from the apical root canal during passive ultrasonic irrigation. *Int Endod J.* **2006**;39(6):472–6.
271. **Falk KW, Sedgley CM.** The influence of preparation size on the mechanical efficacy of root canal irrigation in vitro. *J Endod.* **2005**;31(10):742–5.
272. **Joyce E, Phull SS, Lorimer JP, Mason TJ.** The development and evaluation of ultrasound for the treatment of bacterial suspensions. A study of frequency, power and sonication time on cultured *Bacillus* species. *Ultrason Sonochem.* **2003**;10(6):315–8.
273. **Van Der Sluis LWM, Wu MK, Wesselink PR.** A comparison between a smooth wire and a K-file in removing artificially placed dentine debris from root canals in resin blocks during ultrasonic irrigation. *Int Endod J.* **2005**;38(9):593–6.
274. **Huffaker SK, Safavi K, Spangberg LSW, Kaufman B.** Influence of a passive sonic irrigation system on the elimination of bacteria from root canal systems: a clinical study. *J Endod.* **2010**;36(8):1315–8.
275. **Plotino G, Pameijer CH, Maria Grande N, Somma F.** Ultrasonics in Endodontics: A Review of the Literature. *J Endod.* **2007**;33(2):81–95.
276. **Dr. Surya Narayan Rai.** The efficacy of ultrasonic irrigation in endodontics: A review. *Int J Appl Dent Sci.* **2020**;Vol. 6(Issue 2, Part J):664–6.
277. **Gründling GL, Zechin JG, Jardim WM, De Oliveira SD, De Figueiredo JAP.** Effect of ultrasonics on enterococcus faecalis biofilm in a bovine tooth model. *J Endod.* **2011**;37(8):1128–33.
278. **Huque J, Kota K, Yamaga M, Iwaku M, Hoshino E.** Bacterial eradication from root dentine by ultrasonic irrigation with sodium hypochlorite. *Int Endod J.* **1998**;31(4):242–50.
279. **Kesim B, Tezcan Ülger S, Topçuoğlu HS, Aslan G, Kurnaz N, Sağsen B.** Evaluation of the Efficacy of 2% Chlorhexidine in Combination with Passive Ultrasonic Irrigation on Enterococcus faecalis Biofilm. *Meandros Med Dent J.* **2020**;21(2):140–6.
280. **Siqueira JF, Machado AG, Silveira RM, Lopes HP, De Uzeda M.** Evaluation of the effectiveness of sodium hypochlorite used with three irrigation methods in the elimination of Enterococcus faecalis from the root canal, in vitro. *Int Endod J.* **1997**;30(4):279–.
281. **Shrestha A, Kishen A.** The effect of tissue inhibitors on the antibacterial activity of chitosan nanoparticles and photodynamic therapy. *J Endod.* **2012**;38(9):1275.
282. **Wilson M, Sarkar S, Bulman JS.** Effect of blood on lethal photosensitization of bacteria in subgingival plaque from patients with chronic periodontitis. *Lasers Med Sci.* **1993**;8:297–303.
283. **Bhatti M, MacRobert A, Meghji S, Henderson B, Wilson M.** Effect of Dosimetric and Physiological Factors on the Lethal Photosensitization of *Porphyromonas gingivalis* in vitro. *Photochem Photobiol.* **1997**;65(6):1026–31.

8. EKLER

BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU ONAYI
BOLU ABANT İZZET BAYSAL UNIVERSITY CLINICAL RESEARCHES ETHICS COMMITTEE APPROVAL

Sayı : 375

18.07/2020

Konu: Kararlar

BAŞVURU BİLGİLERİ (APPLICATION INFORMATION)	ARAŞTIRMANIN ADI (TITLE OF THE PROJECT)	Fotodinamik Terapi Nedeniyle Oluşan Diş Renklenmesinin Giderilmesinde Pasif Ultrasonik Irrigasyonun Etkinliğinin Değerlendirilmesi.
	ARAŞTIRMANIN İNGİLİZCE ADI (TITLE OF THE PROJECT)	Evaluation of the Effectiveness of Passive Ultrasonic Irrigation on Removal of Tooth Discoloring Caused by Photodynamic Therapy.
	SORUMLU ARAŞTIRMACI (PRINCIPAL INVESTIGATOR)	Dr.Öğr.Üyesi İsmail ÖZKOÇAK
	DİĞER ARAŞTIRMACILAR (OTHER INVESTIGATORS)	Arş.Gör. İrem Cansu KARA
	ARAŞTIRMA MERKEZİ (RESEARCH CENTER)	Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı

KARAR (DECISION)	Karar no (Decision No): 2020/188	Tarih (Date) 04.08.2020
	Dr.Öğr.Üyesi İsmail ÖZKOÇAK'ın sorumluluğunda yapılması tasarlanan ve yukarıda başvuru bilgileri verilen araştırma dosyası ve ilgili belgelerin incelenmesi sonucunda araştırmanın gerçekleştirilmesinde etik yönden sakınca olmadığına mevcudun oy birliği/oy çokluğu ile karar verilmiştir.	

Üyeler	Uzmanlık alanı	Kurumu	İmzası
Prof. Dr. Mehmet Hayri ERKOL (Başkan)	Genel Cerrahi	BAİBÜ Tıp Fakültesi	
Doç.Dr. Erkan KILINÇ (Başkan Yardımcısı)	Fizyoloji	BAİBÜ Tıp Fakültesi	
Doç. Dr. Mehmet Hamid BOZTAŞ (Üye)	Ruh Sağlığı Hastalıkları	BAİBÜ Tıp Fakültesi	
Doç. Dr. Akif Hakan KURT (Üye)	Farmakoloji	BAİBÜ Tıp Fakültesi	
Doç.Dr. Ahmet YÜKSEL (Üye)	Kalp Damar Cerrahisi	BAİBÜ Tıp Fakültesi	İzinli
Dr. Öğr. Üyesi Oya KALAYCIOĞLU (Bildirimden Sorumlu Üye)	Biyoistatistik	BAİBÜ Tıp Fakültesi	
Dr. Öğr. Üyesi Makbule TOKUR KESGIN (Üye)	Hemşirelik	BAİBÜ Sağlık Bilimleri Fakültesi	
Dr. Öğr. Üyesi Hamit YOLDAŞ (Üye)	Anesteziyoloji ve Reanimasyon	BAİBÜ Tıp Fakültesi	
Dr. Öğr. Üyesi Abdulgani KAYMAZ (Üye)	Göz Hastalıkları	BAİBÜ Tıp Fakültesi	
Dr.Öğr.Üyesi Kübra DEĞİRMENCI (Üye)	Protetik Diş Tedavisi	BAİBÜ Diş Hekimliği Fakültesi	
Dr.Öğr.Üyesi Tuba TASLAMACIOĞLU DUMAN (Üye)	İç Hastalıkları	BAİBÜ Tıp Fakültesi	İzinli
Dr.Öğr.Üyesi Hakan YARAR (Üye)	Antrenörlük	BAİBÜ Spor Bilimleri Fakültesi	İzinli
Dr. Hatice Selen SÖYLEMEZ (Üye)	Farmakolog/Eczacı	Özel Eczane (BOLU)	
Av. Huri Hülya GÜNEŞ COŞKUN (Üye)	Hukukçu	Özel Hukuk Bürosu (BOLU)	
Ramazan KAYNARPINAR (Sivil-Üye)	Esnaf	Serbest Meslek (BOLU)	

9. ÖZGEÇMİŞ

İrem Cansu KARA 01.04.1994 tarihinde Ankara’da doğdu. İlk orta ve lise öğretimini Ankara’da tamamladı. 2012 yılında girdiği Hacettepe Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi’nden Haziran 2017’de mezun oldu. 2019 yılında Diş Hekimliğinde uzmanlık eğitimi kapsamında Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı’nda araştırma görevlisi olarak göreve başladı. Halen aynı bölümde çalışmakta olup uzmanlık eğitimine devam etmektedir.

