

Nelson Tiago Sequeira Santos

**Técnicas de Ativação dos Irrigantes Endodônticos: Sónica Versus Ultrassónica**

Universidade Fernando Pessoa – Faculdade de Ciências da Saúde

Porto, 2020



Nelson Tiago Sequeira Santos

**Técnicas de Ativação dos Irrigantes Endodônticos: Sónica Versus Ultrassónica**

Universidade Fernando Pessoa – Faculdade de Ciências da Saúde

Porto, 2020

Nelson Tiago Sequeira Santos

**Técnicas de Ativação dos Irrigantes Endodônticos: Sónica Versus Ultrassónica**

“Trabalho apresentado à Universidade Fernando Pessoa, como parte dos requisitos para a  
obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária”

Assinatura: \_\_\_\_\_

## **Resumo**

A desinfecção eficiente dos canais radiculares e a prevenção da sua recontaminação após o tratamento é o principal objetivo do tratamento endodôntico. Os objetivos deste trabalho é a comparação da ativação sónica versus a ativação ultrassónica em relação às suas capacidades de redução de *Enterococcus faecalis*, smear layer, detritos, hidróxido de cálcio; melhoria da ação do hipoclorito de sódio; e melhoria da adesão dos cimentos endodônticos. Comparativamente à irrigação convencional, a literatura demonstra que a ativação sónica e ultrassónica, é superior, no entanto não é possível concluir qual das técnicas de ativação dos irrigantes é a mais eficaz para os diferentes propósitos aqui abordados, devido à grande variabilidade de protocolos. Existe a necessidade de uma padronização dos protocolos utilizados nos estudos, para que assim seja possível chegar a uma conclusão relativamente a qual das técnicas é a mais adequada para cada situação.

**Palavras chaves:** *endodontia, irrigação, ativação ultrassónica, ativação sónica*

## **Abstract**

The efficient disinfection of root canals and the prevention of their recontamination after treatment is the main objective of endodontic treatment. The objectives of this work are to compare sonic activation versus ultrasonic activation in relation to their ability to reduce *Enterococcus faecalis*, smear layer, debris, calcium hydroxide; improving the action of sodium hypochlorite; and improved adhesion of endodontic sealers. Compared to conventional irrigation, the literature shows that sonic and ultrasonic activation is superior, however it is not possible to conclude which of the irrigation activation techniques is the most effective for the different purposes addressed here, due to the great variability of protocols of the studies. There is a need for a standardization of the protocols used, so that it is possible to reach a conclusion as to which of the techniques is the most appropriate for each situation.

**Key words:** *endodontics, irrigation, ultrasonic activation, sonic activation*

## **Agradecimentos**

Agradeço à minha família, avós, pais e em especial à minha irmã, Margarida Santos, pelo apoio, incentivo e ajuda para que a concretização deste trabalho fosse possível.

Agradeço aos meus companheiros de curso, por me terem acompanhado ao longo destes 5 anos, e em especial ao meu amigo Abel Vieira, pelo apoio e pela força que me deu para que eu conseguisse prosseguir com este trabalho.

Agradeço ao meu orientador, Mestre Tiago Reis pela disponibilidade, apoio e dedicação que me dispensou, assim como também lhe agradeço pelas suas opiniões/sugestões e críticas que me ajudaram na realização deste trabalho.

A todos vós aqui mencionados, o meu muito obrigado.

## Índice

<b>I – Introdução</b> .....	1
1. Materiais e Métodos .....	2
<b>II – Desenvolvimento</b> .....	3
1. Enterococcus faecalis .....	3
2. Smear Layer .....	3
3. Irrigação Convencional .....	4
4. Irrigantes Endodônticos.....	5
5. Técnicas de Ativação .....	7
5.i. Ativação Sónica .....	8
5.ii. Ativação Ultrassónica .....	9
<b>III – Discussão</b> .....	11
<b>IV – Conclusão</b> .....	15
<b>V - Referências Bibliográficas</b> .....	16

## Índice de Abreviaturas

ANP – Irrigação por pressão apical negativa

Ca(OH)<sub>2</sub> – Hidróxido de Cálcio

CHX – Clorexidina

cpm – Ciclos por minuto

CT – Comprimento de trabalho

EA – EndoActivator

ED – EDDY

EU – EndoUltra

EDTA – Ácido etilenodiaminotetracético

E. faecalis – Enterococcus faecalis

Er, Cr:YSGG - Laser de érbio: cromo: ítrio, escândio, gálio, granada

Hz – Hertz: unidade de medida de frequência no Sistema Internacional de Unidades (SI)

MDA – Ativação dinâmica manual

mm – Milímetro: unidade de medida de comprimento no Sistema Internacional de Unidades (SI)

µm – Micron: unidade de medida de comprimento no Sistema Internacional de Unidades (SI)

NaOCl – Hipoclorito de sódio

PIPS – Transmissão fotoacústica induzida por fotões

PUI – Irrigação ultrassónica passiva

s – Segundo(s) unidade de medida de tempo no Sistema Internacional de Unidades (SI)

SCR – Sistema de canais radiculares

UFC - Unidades formadoras de colónias

## **I – Introdução**

A Endodontia é a área que se ocupa das patologias da polpa dentária, obedecendo a três princípios: instrumentação mecânica; irrigação com agentes antimicrobianos; e obturação (Seet *et al.*, 2012).

A infeção do sistema de canais radiculares (SCR) é habitualmente provocada por múltiplos microrganismos formando um biofilme organizado. Uma das principais causas de fracasso do tratamento endodôntico é a persistência de bactérias no interior do SCR (Hage *et al.*, 2019; Matos *et al.*, 2019).

A desinfeção eficiente do SCR e a prevenção da sua recontaminação após o tratamento é o principal objetivo do tratamento endodôntico, especialmente no terço apical (Balić *et al.*, 2016). Os objetivos da desinfeção químico-mecânica é a eliminação de bactérias e das suas toxinas, a remoção de todos os detritos do SCR e a lubrificação das paredes e instrumentos do canal; contudo, devido à complexidade anatômica, estes pressupostos são difíceis de alcançar (Goel and Tewari, 2009; Dumani *et al.*, 2016; Niu *et al.*, 2014; Betancourt *et al.*, 2019; Pedullà *et al.*, 2019).

A irrigação é fundamental para o desbridamento e desinfeção do SCR, sendo utilizadas para essa finalidade irrigantes, que devem estar em contacto direto com toda a parede do canal, principalmente no terço apical (Saber and Hashem, 2011; Ayranci *et al.*, 2016; Koçak *et al.*, 2016; Matos *et al.*, 2019).

Uma das razões para essa necessidade de melhoria dos protocolos de irrigação deve-se ao facto do irrigante aquando da irrigação convencional com seringa não ser capaz de alcançar mais de 2 milímetros (mm) da ponta da agulha depois de libertado (Andrabi *et al.*, 2014; Betancourt *et al.*, 2019) o que significa que o irrigante frequentemente não atinge a região apical do canal, isso é válido tanto para canais radiculares curvos, como para canais retos (Urban *et al.*, 2017; Betancourt *et al.*, 2019).

Para colmatar estas dificuldades foram desenvolvidas técnicas de ativação dos irrigantes (Hage *et al.*, 2019), com o intuito de aumentar o fluxo e o fornecimento dos irrigantes no SCR (Saber and Hashem, 2011; Andrabi *et al.*, 2014).

Diferentes métodos de ativação foram propostos para melhorar o efeito dos irrigantes (Niu *et al.*, 2014; Aldeen *et al.*, 2018; Eneide *et al.*, 2019), sendo o objetivo deste trabalho a comparação da ativação sónica versus a ativação ultrassónica em relação às suas capacidades

de redução/eliminação de *Enterococcus faecalis* (*E. faecalis*); redução/remoção da smear layer e detritos; remoção de hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ); na melhoria da eficácia do hipoclorito de sódio ( $\text{NaOCl}$ ); e na melhoria dos cimentos endodônticos de resina em termos de penetração nos túbulos dentinários e da sua força de adesão.

## 1. Materiais e Métodos

A pesquisa bibliográfica foi realizada entre Outubro de 2019 e Fevereiro de 2020, utilizando as bases de dados PubMed, B-On, Medline, Scielo e Google Académico. Os critérios de inclusão restringiram a pesquisa a artigos escritos na língua inglesa, artigos publicados nos últimos 21 anos, sendo que, inicialmente, a seleção foi realizada com base na leitura do título e do resumo, tendo sido rejeitados todos aqueles que, divergiam substancialmente da temática em estudo ou cuja disponibilidade estava impossibilitada. Posteriormente, a exclusão foi determinada pela análise do conteúdo integral de cada artigo, tendo culminado num total de 42 artigos.

As palavras chaves utilizadas foram: *endodontia, irrigação, ativação ultrassónica, ativação sónica.*

## II – Desenvolvimento

### 1. Enterococcus faecalis

O SCR é normalmente um sistema fechado, incluído nos dentes sendo que as suas raízes estão inseridas nos tecidos periodontais e no osso alveolar (Sáinz-Pardo *et al.*, 2014). Este consiste numa complexa rede tridimensional constituída pelo lúmen dos canais radiculares principais, mais os túbulos dentinários, extensões ovais, canais acessórios, ramificações de canais, deltas apicais, anastomoses transversais, todas suficientemente grandes para conter as células bacterianas (Betancourt *et al.*, 2019).

A presença, persistência e o crescimento de bactérias na dentina coronal, no SCR ou na dentina radicular, é o agente responsável pela doença de origem endodôntica (Seet *et al.*, 2012), sendo o *E. faecalis* um dos principais responsáveis pela falha no tratamento endodôntico (Eneide *et al.*, 2019).

*E. faecalis* é um anaeróbio facultativo Gram-positivo altamente resistente a estratégias antimicrobianas, possuindo a capacidade de colonizar o canal radicular através da formação estruturada de biofilme e possui também vários fatores de sobrevivência e virulência (Hage *et al.*, 2019). Esta bactéria pode sobreviver em condições adversas, como meio alcalino ou privação de nutrientes por longos períodos de tempo; para além disso também se liga à dentina e invade os túbulos dentinários, altera a resposta do hospedeiro e limita a ação dos linfócitos (Hage *et al.*, 2019). A sua capacidade de penetração nos túbulos dentinários pode ir desde os 250 microns ( $\mu\text{m}$ ) aos 1000  $\mu\text{m}$ , o que permite resistência aos irrigantes habitualmente usados durante a instrumentação do canal (Dumani *et al.*, 2016).

### 2. Smear Layer

A instrumentação mecânica do SCR produz uma camada não homogênea, irregular e amorfa amplamente aderida às paredes do canal, com uma espessura de cerca de 1–2  $\mu\text{m}$ , designada por smear layer que é capaz de penetrar nos túbulos dentinários a uma profundidade entre 40  $\mu\text{m}$  a 50  $\mu\text{m}$  (smear plugs) (Topçuoğlu *et al.*, 2013; Ayranci *et al.*, 2016). A smear layer inclui restos de dentina e material orgânico, como restos vitais ou necróticos do tecido pulpar, substâncias inorgânicas, fragmentos de processos odontoblásticos, detritos necróticos e

microrganismos e seus produtos metabólicos (Blank-Gonçalves *et al.*, 2011; Saber and Hashem, 2011; Topçuoğlu *et al.*, 2013; Andrabi *et al.*, 2014; Khaord *et al.*, 2015).

A smear layer atua como uma barreira física, o que pode diminuir a permeabilidade da dentina e impedir a penetração de medicamentos intracanales e cimentos endodônticos nos túbulos dentinários, além disso aumenta a microinfiltração bacteriana e diminui a resistência de união dos materiais obturadores (Saber and Hashem, 2011; Andrabi *et al.*, 2014; Koçak *et al.*, 2016; Bueno *et al.*, 2019).

Na presença da smear layer, os irrigantes precisam remover ou penetrar na smear layer para serem capazes de atingir as bactérias na dentina infetada (Koçak *et al.*, 2016). Assim sendo, a sua remoção, em que o contributo da irrigação é fundamental, utilizando soluções quelantes, favorece um desbridamento e desinfecção completos do SCR (Blank-Gonçalves *et al.*, 2011; Andrabi *et al.*, 2014), possibilitando uma melhor interface/adaptação entre o material obturador e as paredes do canal; aumentando o sucesso da obturação (Saber and Hashem, 2011; Ahuja *et al.*, 2014; Andrabi *et al.*, 2014; Bueno *et al.*, 2019).

### 3. Irrigação Convencional

A irrigação convencional depende unicamente de uma seringa e uma agulha para fornecer o irrigante ao SCR. Sendo que a agulha pode apresentar saída frontal ou lateral (Aldeen *et al.*, 2018; Duque *et al.*, 2016). A irrigação convencional por agulha apresenta limitações na libertação do NaOCl, sendo que a sua eficácia depende da anatomia do SCR e da profundidade de penetração da agulha de acordo com o diâmetro e a curvatura da raiz (Eneide *et al.*, 2019). Essa limitação pode ser mais evidente no terço apical, ramificações de canais e irregularidades (Dumani *et al.*, 2016; Suman *et al.*, 2017).

A penetração do irrigante em todas as extensões do SCR e a capacidade de penetrar em áreas inacessíveis aos instrumentos endodônticos são dois fatores de extrema importância (Duque *et al.*, 2016). Embora a irrigação convencional por agulha seja uma das técnicas mais utilizadas, a sua eficácia na remoção da smear layer dos canais radiculares curvos, especialmente no terço apical, ainda é questionável (Ahuja *et al.*, 2014).

Durante a irrigação convencional com seringa a ponta da agulha deve estar localizada a 1-2 mm do comprimento de trabalho (CT) (Bueno *et al.*, 2019), uma vez que essa é a distância que o irrigante é capaz de alcançar para além da ponta da agulha depois de libertado (Andrabi *et al.*, 2014; Bueno *et al.*, 2019); mesmo assim é insuficiente para a limpeza completa da anatomia

complexa do SCR (Mancini *et al.*, 2013; Andrabi *et al.*, 2014; Ayranci *et al.*, 2016; Betancourt *et al.*, 2019).

A preparação químico-mecânica básica com diferentes concentrações de NaOCl deixa pelo menos 40 a 60% da contagem bacteriana inicial nos SCR infetados, sendo impossível torna-los previsivelmente livres de bactérias cultiváveis (Balić *et al.*, 2016; Hage *et al.*, 2019).

Uma outra situação que ocorre durante a irrigação convencional por agulha, é o vapor lock que resulta no aprisionamento/retenção de ar no terço apical dos canais radiculares, podendo dificultar ou até mesmo impedir a troca de irrigantes e afetar a eficácia do desbridamento dos mesmos (Saber and Hashem, 2011; Mancini *et al.*, 2013; Andrabi *et al.*, 2014; Khaord *et al.*, 2015; Koçak *et al.*, 2016; Urban *et al.*, 2017). Esse aprisionamento de gás no terço apical deve-se ao facto de as raízes estarem cercadas pelo periodonto, fazendo com que o SCR se comporte como um sistema de canal fechado (de Gregorio *et al.*, 2010).

#### 4. Irrigantes Endodônticos

Durante as últimas décadas, vários irrigantes endododônticos têm sido amplamente estudados e utilizados no tratamento do SCR (Dumani *et al.*, 2016; Rico-Romano *et al.*, 2016); como tal a sua eficiência depende não só do próprio irrigante, mas também do sistema de distribuição (de Gregorio *et al.*, 2010).

Está descrito na literatura que os irrigantes possuem diversas funções, tais como: lubrificação das paredes do canal durante a instrumentação; remoção de detritos; dissolução da matéria orgânica e inorgânica; destruição de microrganismos; ajudam na limpeza em áreas inacessíveis aos métodos de limpeza mecânica (Mancini *et al.*, 2013; Neelakantan *et al.*, 2018; Eneide *et al.*, 2019; Matos *et al.*, 2019).

A necessidade de potencializar a eficácia dos irrigantes com o intuito de promover uma melhor desinfecção antes da obturação dos SCR (Hage *et al.*, 2019), e o facto de nenhum irrigante por si só apresentar todas as funções descritas anteriormente, pode levar ao uso/ação sinérgica de dois ou mais irrigantes (Matos *et al.*, 2019).

Os irrigantes mais usualmente utilizados no tratamento endodôntico são NaOCl e a clorexidina (CHX), devido às suas propriedades antimicrobianas; porém, nenhum deles é eficaz na remoção da smear layer; para além disso a CHX apresenta outra propriedade importante:

substantividade. Esta propriedade, também designada por atividade antimicrobiana substantiva, refere-se a um efeito antimicrobiano prolongado (Rödig *et al.*, 2010; Rico-Romano *et al.*, 2016).

Determinados irrigantes são utilizados para a remoção da smear layer, como é o caso do ácido etilenodiaminotetracético (EDTA) e do ácido cítrico. Na endodontia, o ácido cítrico é utilizado em concentrações que variam entre 5 a 50%, sendo um ácido orgânico fraco que reage rapidamente com os iões cálcio, sendo capaz de desmineralizar a smear layer. Por outro lado, o EDTA nas concentrações de 15 a 17%, é um irrigante intracanal que apresenta uma ação quelante e a capacidade de remover a smear layer, dissolvendo principalmente o componente inorgânico desta (Matos *et al.*, 2019).

O uso alternado de NaOCl e EDTA, é utilizado para remover a matéria orgânica e a matéria inorgânica, respetivamente (Blank-Gonçalves *et al.*, 2011; Ahuja *et al.*, 2014). A combinação destes irrigantes utilizados alternadamente demonstrou ser eficaz na remoção de restos pulpares do interior do SCR e da smear layer (Rödig *et al.*, 2010; Topçuoğlu *et al.*, 2013; Mancini *et al.*, 2017). Estes irrigantes podem penetrar em áreas mecanicamente inacessíveis, sendo indispensáveis no terço apical dos canais (de Gregorio *et al.*, 2010; Rödig *et al.*, 2010; Duque *et al.*, 2016); mesmo assim, a sua remoção é menos eficaz no terço apical comparativamente aos terços coronal e médio, devido à incapacidade dos irrigantes atingirem o terço apical do SCR (Andrabi *et al.*, 2014).

Uma outra particularidade dos irrigantes como o NaOCl e o EDTA, é o facto de estes serem habitualmente utilizados para a remoção do  $\text{Ca(OH)}_2$  residual (Türker *et al.*, 2013); tendo mesmo sido relatado que a irrigação do canal radicular combinando estes dois irrigantes, levou a melhores resultados na remoção do  $\text{Ca(OH)}_2$  que o uso isolado do NaOCl (Khaleel *et al.*, 2013). Devido à sua capacidade limitada em dissolver materiais orgânicos, a irrigação com NaOCl sem ativação foi considerada como um método inadequado para a remoção de  $\text{Ca(OH)}_2$  do SCR (Türker *et al.*, 2013).

O NaOCl foi introduzido na endodontia por Walker em 1936 (Rico-Romano *et al.*, 2016), sendo considerado o irrigante intracanal ideal e mais utilizado no tratamento endodôntico e, dependendo dos autores, as suas concentrações variam entre 0,5 a 6% (Koçak *et al.*, 2016; Betancourt *et al.*, 2019; Hage *et al.*, 2019); porém devido à sua citotoxicidade e capacidade de causar necrose, hemólise e ulceração da pele, este não é isento de riscos (Seet *et al.*, 2012).

O NaOCl apresenta espectro antimicrobiano devido às suas propriedades bactericidas; capacidade de dissolução do tecido, o que remove o componente orgânico da smear layer; e

capacidade exclusiva de dissolver os restos do tecido (Wiseman *et al.*, 2011; Balić *et al.*, 2016; Dumani *et al.*, 2016; Matos *et al.*, 2019; Betancourt *et al.*, 2019).

Para atingir todo o seu potencial, o NaOCl exige um tempo de trabalho adequado; no entanto além do tempo de contacto, o modo de aplicação e a sua ativação pode levar à otimização das suas capacidades, melhorando a desinfecção e permitindo a sua penetração no SCR (Hage *et al.*, 2019).

## 5. Técnicas de Ativação

As técnicas de ativação foram desenvolvidas para melhorar o efeito dos irrigantes (Rico-Romano *et al.*, 2016).

Durante a irrigação, as técnicas e os sistemas de distribuição dos irrigantes devem ser capazes de desbridar áreas que não podem ser alcançadas com a instrumentação mecânica, como também devem de ser capazes de fornecer o irrigante por toda a extensão do SCR, particularmente no terço apical (de Gregorio *et al.*, 2010; Rödig *et al.*, 2010). Assim sendo, para aumentar o fluxo, a distribuição e a eficácia dos irrigantes no SCR, diferentes técnicas e sistemas de distribuição foram propostos (Saber and Hashem, 2011; Ahuja *et al.*, 2014; Andrabi *et al.*, 2014; Khaord *et al.*, 2015; Eneide *et al.*, 2019; Pedullà *et al.*, 2019).

As técnicas de ativação e os sistemas de distribuição dos irrigantes podem ser divididos em dispositivos de ativação manual e dispositivos de ativação assistida mecanicamente (de Gregorio *et al.*, 2010; Akcay *et al.*, 2014, 2016; Andrabi *et al.*, 2014; Neelakantan *et al.*, 2018). Os dispositivos de ativação manual podem ser classificados em: limas ativadas manualmente; cones principais de gutta-percha no CT, designada por ativação dinâmica manual (MDA); escovas de canal; sistemas de agulhas com escovas (NaviTip FX); e irrigação por pressão positiva com vários designs de agulhas (Rödig *et al.*, 2010; de Gregorio *et al.*, 2010; Topçuoğlu *et al.*, 2013; Akcay *et al.*, 2014, 2016; Andrabi *et al.*, 2014; Niu *et al.*, 2014; Dumani *et al.*, 2016; Neelakantan *et al.*, 2018; Pedullà *et al.*, 2019).

Relativamente aos dispositivos de ativação assistida mecanicamente, estes podem ser classificados em: ativação mecânica com instrumentos de plástico; escovas rotativas (Canal Brush); limas rotativas à base de polímeros; lima rotativa plástica; dispositivos de alternância de pressão; irrigação por pressão apical negativa (ANP) (Sistema EndoVac); irrigação ativada por laser (laser Er: YAG); transmissão fotoacústica induzida por fotões (PIPS); e dispositivos sónicos (EndoActivator (EA); EDDY (ED); Vibringe) e ultrassónicos (EndoUltra (EU)) (de

Gregorio *et al.*, 2010; Rödig *et al.*, 2010; Andrabi *et al.*, 2014; Niu *et al.*, 2014; Akcay *et al.*, 2016; Suman *et al.*, 2017; Neelakantan *et al.*, 2018; Hage *et al.*, 2019; Pedullà *et al.*, 2019).

### 5.i. Ativação Sónica

A ativação sónica gera oscilação mecânica, fundamentalmente na ponta do instrumento, sendo que os dispositivos sónicos trabalham com frequências baixas ( $< 20000$  Hertz (Hz)) (Jensen *et al.*, 1999; Khaord *et al.*, 2015; Balić *et al.*, 2016) e com amplitudes altas (Blank-Gonçalves *et al.*, 2011; Suman *et al.*, 2017; Pedullà *et al.*, 2019) essas frequências, dependendo dos autores, podem variar dos 1000 – 10000 Hz (Jensen *et al.*, 1999; Khaord *et al.*, 2015; Balić *et al.*, 2016; Suman *et al.*, 2017).

O EA é um dispositivo acoplado a uma peça de mão sónica vibratória, sem fio, operada por bateria e que usa pontas de polímero de poliamida removíveis, altamente flexíveis, de vários tamanhos, não cortantes (evita o corte ativo da dentina (Haupt *et al.*, 2019)) e de uso único (Seet *et al.*, 2012; Mancini *et al.*, 2013; Balić *et al.*, 2016; Pedullà *et al.*, 2019).

As pontas de polímero flexível estão disponíveis em três tamanhos diferentes (amarelo 15/.02, vermelho 25/.04 e azul 35/.04) (Jiang *et al.*, 2010; Khaleel *et al.*, 2013; Duque *et al.*, 2016; Keskin, Sariyilmaz and Sariyilmaz, 2017). Dependendo dos autores, as velocidades das pontas de polímero variam dos 2000 – 10000 ciclos por minuto (cpm) sendo utilizadas por um período de 30 a 60 segundos (s) (Keskin, Sariyilmaz and Sariyilmaz, 2017; Urban *et al.*, 2017).

O movimento rápido, pequeno, intenso, circular ou tipo vórtice ao redor de um dispositivo vibratório, é designado por transmissão acústica (Jiang *et al.*, 2010; Wiseman *et al.*, 2011; Urban *et al.*, 2017). De forma a permitir que o instrumento possa vibrar livremente dentro dos canais, estes devem ser previamente alargados, uma vez que este movimento do tipo vórtice acontece mais perto da ponta do que da extremidade da parte coronal da lima (Wiseman *et al.*, 2011); sendo assim, as pontas de polímero devem ser colocadas na região apical do SCR (Seet *et al.*, 2012; Balić *et al.*, 2016). Por outro lado, a cavitação refere-se à formação de bolhas de vapor ou a expansão, contração e/ou distorção de bolhas preexistentes (os chamados núcleos de cavitação) num líquido (Jiang *et al.*, 2010), ou seja, a formação e o possível colapso subsequente de milhões de bolhas microscópicas num líquido (Urban *et al.*, 2017).

O sistema Vibringe, utiliza uma peça de mão sem fio que se encaixa em uma seringa descartável, ou seja, fornece continuamente os irrigantes de maneira pulsátil e por sonoridade diretamente no SCR a uma frequência de 150 Hz em apenas uma etapa (Dumani *et al.*, 2016).

O ED é um dispositivo que induz oscilações sónicas e, dependendo dos autores, opera com frequências entre os 5000 – 6000 Hz (Rödig *et al.*, 2010; Urban *et al.*, 2017; Donnermeyer *et al.*, 2019; Eneide *et al.*, 2019; Hage *et al.*, 2019; Haupt *et al.*, 2019). Este dispositivo utiliza pontas de polímero de poliamida flexíveis com um tamanho de 25.04 (Urban *et al.*, 2017; Rödig *et al.*, 2019). A vibração produzida é transferida para essa ponta que, ao que tudo indica, não causa danos às paredes do SCR (Hage *et al.*, 2019), uma vez que impede o corte ativo da dentina durante o contacto não intencional (Rödig *et al.*, 2019).

#### 5.ii. Ativação Ultrassónica

Os dispositivos ultrassónicos trabalham com frequências altas (> 20000 Hz) (Sáinz-Pardo *et al.*, 2014; Balić *et al.*, 2016) e com amplitudes baixas (Sáinz-Pardo *et al.*, 2014); essas frequências, dependendo dos autores, podem variar dos 25000 – 45000 Hz (Sáinz-Pardo *et al.*, 2014; Khaord *et al.*, 2015; Balić *et al.*, 2016; Pedullà *et al.*, 2019).

O EU é um dispositivo ultrassónico sem fio, que utiliza uma bateria recarregável de iões de lítio e pontas de aço inoxidável 15/02 (Pedullà *et al.*, 2019), operando com uma frequência de 40000 Hz (Hage *et al.*, 2019; Pedullà *et al.*, 2019), induzindo cavitação e transmissão acústica (Hage *et al.*, 2019).

A irrigação ultrassónica passiva (PUI) utiliza uma lima de aço inoxidável ativada por ultrassom, e pode ser usado com um fluxo contínuo ou intermitente de irrigante (Koçak *et al.*, 2016). O termo passivo, refere-se ao facto de que nenhuma tentativa é feita para instrumentar, alisar ou entrar em contacto com as paredes do SCR (Jensen *et al.*, 1999). Esta técnica de ativação, otimiza a penetração dos irrigantes no SCR (Mancini *et al.*, 2013, 2017), levando à remoção de detritos orgânicos e inorgânicos; tem a capacidade de interromper/dissociar o biofilme (Bueno *et al.*, 2019); tendo sido demonstrado a sua eficácia na desinfeção do SCR e na remoção da smear layer em áreas mecanicamente inacessíveis, como é o caso da região apical e istmos (Eneide *et al.*, 2019; Matos *et al.*, 2019).

Durante a PUI, a transmissão acústica gerada leva à destruição das células bacterianas (Betancourt *et al.*, 2019); por outro lado, a cavitação causa o colapso das bolhas de gás, causando um efeito de vácuo de pressão o que promove a limpeza da parede do SCR; otimiza o efeito bactericida do NaOCl, uma vez que há um aumento de temperatura aquando da utilização da PUI (Koçak *et al.*, 2016), aumentando assim a sua penetração nos túbulos dentinários (Akçay *et al.*, 2014; Arslan, Abbas and Karatas, 2016); para além disso, permite

uma maior adaptação dos cimentos endodônticos às paredes e irregularidades do SCR, assim como uma maior penetração nos canais laterais e acessórios (Arslan, Abbas and Karatas, 2016). Esses fatores facilitam a remoção de bactérias, tecido pulpar, restos de dentina, smear layer e  $\text{Ca(OH)}_2$  do SCR (Saber and Hashem, 2011; Khaleel *et al.*, 2013; Khaord *et al.*, 2015; Keskin, Sariyilmaz and Sariyilmaz, 2017). Devido às características anatômicas do SCR, a ativação ultrassónica é menos eficaz na região apical do que na região cervical, pois necessita da oscilação da ponta do instrumento (Aldeen *et al.*, 2018). Porém, quando a PUI é utilizada principalmente em canais radiculares curvos, pode haver o contacto da lima ultrassónica com a parede dentinária, o que diminui a sua energia (Eneide *et al.*, 2019), podendo levar também à remoção não intencional/descontrolada da dentina, sendo mais provável de ocorrer no terço apical dos canais mesiais curvos dos molares inferiores (Rödig *et al.*, 2019).

### III – Discussão

De acordo com a literatura, relativamente à eliminação de *E. faecalis*, há estudos que concluem que tanto a ativação ultrassónica quanto a ativação sónica são eficazes na redução de *E. faecalis* e/ou de unidades formadoras de colónias (UFC) (Seet *et al.*, 2012; Balić *et al.*, 2016; Dumani *et al.*, 2016; Rico-Romano *et al.*, 2016; Betancourt *et al.*, 2019; Eneide *et al.*, 2019; Hage *et al.*, 2019; Pedullà *et al.*, 2019). Existem estudos que concluem que a ativação ultrassónica foi superior à ativação sónica (Rico-Romano *et al.*, 2016; Pedullà *et al.*, 2019); no entanto num estudo realizado por Eneide *et al.* (2019) não foi encontrada nenhuma diferença entre a ativação sónica e ativação ultrassónica.

Uma das razões para tal facto, pode ser devido aos dispositivos sónicos e ultrassónicos utilizados em cada estudo serem diferentes assim como os seus protocolos. No estudo de Eneide *et al.* (2019) a ativação ultrassónica (PUI) foi realizada com uma ponta ultrassónica IRRI K colocada a 1 mm do CT, não especificando a frequência utilizada e a ativação sónica (ED) foi realizada com a ponta sónica colocada a 1 mm do CT com uma frequência de 6000 Hz; enquanto que no estudo de Pedullà *et al.* (2019), a ativação ultrassónica (PUI) foi realizada com uma ponta ultrassónica de aço inoxidável ISO 15 com uma frequência de 30000 Hz colocada a 2 mm do CT, no outro dispositivo ultrassónico (EU) foi utilizado uma ponta de aço inoxidável 15.02 com uma frequência de 40000 Hz também colocada a 2 mm do CT e para a ativação sónica (EA) utilizaram uma ponta 15/02 a 167,67 Hz; e finalmente no estudo de Rico-Romano *et al.* (2016), a ativação ultrassónica foi realizada com uma ponta IRRI S e a ativação sónica foi realizada com o EA a 10000 cpm; a outra razão pode estar relacionada com o tamanho e tipo de amostra, sendo que no estudo de Eneide *et al.* (2019) os autores utilizaram 44 dentes monorradiculares; no estudo de Pedullà *et al.* (2019) utilizaram 140 dentes monorradiculares; e no estudo de Rico-Romano *et al.* (2016), utilizaram 120 dentes mono e multirradiculares, sendo que este último é um estudo clínico.

Também existem estudos que concluem que a irrigação convencional foi a que apresentou a menor eficácia na redução de *E. faecalis* e/ou de UFC em comparação com diversas técnicas de ativação (Seet *et al.*, 2012; Eneide *et al.*, 2019; Hage *et al.*, 2019; Pedullà *et al.*, 2019). Nomeadamente as técnicas ativadas a laser reduziram significativamente a população de *E. faecalis* e/ou de UFC (Seet *et al.*, 2012; Balić *et al.*, 2016; Betancourt *et al.*, 2019; Hage *et al.*, 2019); no entanto no estudo realizado por Seet *et al.* (2012), embora a ativação sónica e a irrigação convencional mostrassem um número reduzido de células bacterianas na dentina

radicular, não foram eficazes na eliminação de *E. faecalis* nos túbulos dentinários ao contrário da ativação a laser que foi capaz de reduzir o biofilme de *E. faecalis* mesmo nos túbulos dentinários. Nestes estudos também é possível verificar que as técnicas ativadas com laser são superiores à ativação sónica e/ou ultrassónica (Seet *et al.*, 2012; Betancourt *et al.*, 2019); no entanto no estudo realizado por Balić *et al.* (2016) o laser e a ativação sónica não mostraram diferenças entre si, isso pode ser explicado pelo tipo de laser utilizado em cada estudo, uma vez que no estudo de Balić *et al.* (2016), utilizaram uma ponta PIPS colocada na entrada do canal radicular; enquanto que no estudo de Seet *et al.* (2012), o laser de érbio: cromo: ítrio, escândio, gálio, granada (Er, Cr:YSGG) foi utilizado com uma ponta de disparo radial (17 mm, 52°) inserida 4 mm no canal; e no estudo de Betancourt *et al.* (2019), também foi utilizado o laser de Er, Cr: YSGG em que a sua ponta foi colocada na câmara pulpar.

De acordo com a literatura tanto a ativação ultrassónica quanto a ativação sónica são eficazes na remoção/redução da smear layer e/ou detritos do SCR (Jensen *et al.*, 1999; Goel and Tewari, 2009; Rödig *et al.*, 2010, 2019; Jiang *et al.*, 2010; Saber and Hashem, 2011; Blank-Gonçalves *et al.*, 2011; Mancini *et al.*, 2013, 2017; Ahuja *et al.*, 2014; Niu *et al.*, 2014; Andrabi *et al.*, 2014; Khaord *et al.*, 2015; Koçak *et al.*, 2016; Ayranci *et al.*, 2016; Duque *et al.*, 2016; Suman *et al.*, 2017; Urban *et al.*, 2017; Aldeen *et al.*, 2018; Neelakantan *et al.*, 2018; Haupt *et al.*, 2019).

Existem estudos que apresentaram resultados superiores para a ativação sónica em comparação com a ativação ultrassónica (Rödig *et al.*, 2010; Mancini *et al.*, 2013, 2017; Khaord *et al.*, 2015); no entanto, há estudos que concluem não haver diferença significativa entre estas duas técnicas de ativação (Jensen *et al.*, 1999; Blank-Gonçalves *et al.*, 2011; Urban *et al.*, 2017).

A diferença entre estes estudos pode ser explicado pelo facto de nos estudos em que a ativação sónica foi superior à ultrassónica, as pontas terem sido colocadas a distâncias diferentes em relação ao ápice do dente, o que significa que como a ativação ultrassónica trabalha com frequências mais altas e as suas pontas foram colocadas mais próximas do ápice em comparação com a ativação sónica, existe um maior risco de desgaste das paredes dentinárias, produzindo nova smear layer e detritos e conseqüentemente diminuindo a sua eficácia (Mancini *et al.*, 2013, 2017). O facto de existirem estudos que concluem não haver diferença entre estas duas técnicas de ativação, é que nestes estudos as pontas de ambos os dispositivos foram colocadas à mesma distância em relação ao ápice do dente e com o mesmo calibre de ponta (Jensen *et al.*, 1999; Blank-Gonçalves *et al.*, 2011; Urban *et al.*, 2017).

No entanto, também foram encontrados dois estudos que apresentaram resultados superiores para a ativação ultrassónica em comparação com a ativação sónica (Jiang *et al.*, 2010; Neelakantan *et al.*, 2018). Estes resultados podem ser explicados pela alta frequência dos dispositivos ultrassónicos em comparação com os dispositivos sónicos, no entanto para que a ativação ultrassónica seja superior à sónica é essencial que a ponta destes dispositivos não toque nas paredes do canal. Nestes estudos a irrigação convencional foi a técnica que apresentou a menor eficácia na remoção/redução da smear layer e/ou detritos do SCR (Jensen *et al.*, 1999; Blank-Gonçalves *et al.*, 2011; Niu *et al.*, 2014; Koçak *et al.*, 2016; Suman *et al.*, 2017; Urban *et al.*, 2017; Neelakantan *et al.*, 2018; Haupt *et al.*, 2019).

Relativamente ao aumento da eficácia dos irrigantes, particularmente do NaOCl no SCR, no estudo realizado por Sáinz-Pardo *et al.* (2014), os autores concluem que em sistemas fechados a profundidade de penetração dos irrigantes foi superior com a ativação ultrassónica comparativamente com a ativação sónica; assim como num estudo realizado por Akcay *et al.* (2016) no qual a ativação ultrassónica (PUI) teve uma área de penetração do irrigante nos túbulos dentinários significativamente maior do que a ativação sónica (EA).

Na literatura existem diversos estudos que concluem que tanto a ativação ultrassónica quanto a ativação sónica são eficazes na remoção do  $\text{Ca(OH)}_2$  do SCR (Wiseman *et al.*, 2011; Khaleel *et al.*, 2013; Türker *et al.*, 2013; Keskin, Sariyilmaz and Sariyilmaz, 2017; Donnermeyer *et al.*, 2019). No entanto dois estudos concluem que a ativação ultrassónica foi superior à ativação sónica na remoção do  $\text{Ca(OH)}_2$  do SCR (Wiseman *et al.*, 2011; Keskin, Sariyilmaz and Sariyilmaz, 2017), sendo que no estudo de Keskin, Sariyilmaz and Sariyilmaz (2017) avaliaram somente canais retos instrumentados até um calibre 50, sendo que a ativação sónica (EA) foi realizada com uma ponta 25/04 colocada a 2 mm do CT, já a ativação ultrassónica (PUI) foi realizada com uma ponta 15/02 colocada a 1 mm do CT. O facto da ativação ultrassónica (PUI) ter sido realizada com uma ponta de menor calibre permite maior amplitude de vibração e colocada mais próxima do ápice em comparação com a ativação sónica (EA) pode explicar a sua maior eficácia na remoção do  $\text{Ca(OH)}_2$  do SCR em comparação com a ativação sónica (EA).

No estudo de Wiseman *et al.* (2011) embora a ativação ultrassónica (PUI) tivesse uma maior eficácia do que a ativação sónica (EA), neste estudo para ambas as técnicas foram utilizadas pontas com o mesmo calibre (15/02) e colocadas à mesma distância do ápice (a 2 mm do CT), avaliando também canais curvos instrumentados até um calibre 40, sendo que em canais curvos a ativação ultrassónica (PUI) pode tocar nas paredes do SCR e conseqüentemente levar a uma maior remoção de  $\text{Ca(OH)}_2$ .

Foi demonstrado em dois estudos que a ativação ultrassónica quer a ativação sónica levaram a uma melhor adesão e penetração dos cimentos endodônticos de resina, o que levou a uma melhoria na resistência de união destes cimentos ao SCR (Topçuoğlu *et al.*, 2013; Akcay *et al.*, 2014). Em ambos os estudos a ativação ultrassónica em comparação com a ativação sónica foi a que apresentou os melhores resultados, uma vez que a ativação ultrassónica (PUI) foi realizada com uma lima ultrassónica 15/0,02 colocada a 2 mm do CT, enquanto que a ativação sónica (EA) foi realizada com a ponta vermelha 25/04 no estudo de Akcay *et al.* (2014), enquanto no estudo de Arslan, Abbas and Karatas (2016), foi utilizado uma ponta de calibre 30, ambas colocadas também a 2 mm do CT, o que significa que o facto de a ativação ultrassónica ter usado uma ponta de menor conicidade e calibre, pode explicar os seus melhores resultados.

Comparativamente à irrigação convencional, a literatura demonstra que a ativação sónica e ultrassónica dos irrigantes, é superior, no entanto a análise dos artigos permite-nos concluir que não é possível determinar qual das técnicas de ativação dos irrigantes é a mais eficaz para os diferentes propósitos aqui abordados. A variabilidade dos protocolos utilizados em cada estudo, faz com que na sua maioria não haja um termo de comparação. Existe a necessidade de uma padronização dos protocolos utilizados, para que assim seja possível chegar a uma conclusão relativamente a qual das técnicas é a mais adequada para cada situação.

#### **IV – Conclusão**

A ativação dos irrigantes permite uma melhor desinfeção e uma maior atividade antimicrobiana no SCR, permitindo um aumento do fluxo e uma melhor distribuição dos irrigantes no SCR.

A ativação sónica e ultrassónica dos irrigantes comparativamente à irrigação convencional é superior sendo que com a irrigação convencional, o irrigante pode não ser capaz de atingir a região apical do canal.

A ativação sónica e ultrassónica dos irrigantes é eficaz na redução/eliminação de *E. faecalis*; redução/remoção da smear layer e detritos; remoção de  $\text{Ca(OH)}_2$ ; na melhoria da eficácia do NaOCl; e na melhoria dos cimentos endodônticos de resina em termos de penetração nos túbulos dentinários e da sua força de adesão; no entanto, devido à grande diferença dos protocolos utilizados, não é possível afirmar qual a técnica mais eficaz.

Assim sendo, existe a necessidade da realização de mais estudos e com protocolos semelhantes, para que desse modo seja possível obter-se resultados comparáveis.

## V - Referências Bibliográficas

- Ahuja, P. *et al.* (2014). Effectiveness of different irrigation devices on the smear layer removal in the apical portion of curved root canals: A scanning electron microscopy study. *Saudi Endodontic Journal*, 11(1), pp. 1–9.
- Akcay, M. *et al.* (2014). The effect of photon-initiated photoacoustic streaming, ultrasonically and sonically irrigation techniques on the push-out bond strength of a resin sealer to the root dentin. *Clinical Oral Investigations*, 19(5), pp. 1055–1061.
- Akcay, M. *et al.* (2016). Effect of photon-initiated photoacoustic streaming, passive ultrasonic, and sonic irrigation techniques on dentinal tubule penetration of irrigation solution: a confocal microscopic study. *Clinical Oral Investigations*, 21(7), pp. 2205–2212.
- Aldeen, R. Z. *et al.* (2018). Effect of Er:YAG laser-activated irrigation on dentine debris removal from different parts of the root canal system: An in vitro study. *Dental and Medical Problems*, 55(2), pp. 133–138.
- Andrabi, S. M. U. N. *et al.* (2014). Effect of passive ultrasonic irrigation and manual dynamic irrigation on smear layer removal from root canals in a closed apex in vitro model. *Journal of investigative and clinical dentistry*, 5(3), pp. 188–193.
- Arslan, H., Abbas, A. and Karatas, E. (2016). Influence of ultrasonic and sonic activation of epoxy-amine resin-based sealer on penetration of sealer into lateral canals. *Clinical Oral Investigations*, 20(8), pp. 2161–2164.
- Ayranci, L. B. *et al.* (2016). Effectiveness of laser-assisted irrigation and passive ultrasonic irrigation techniques on smear layer removal in middle and apical thirds. *Scanning*, 38(2), pp. 121–127.
- Balić, M. *et al.* (2016). The efficacy of photon-initiated photoacoustic streaming and sonic-activated irrigation combined with QMiX solution or sodium hypochlorite against intracanal *E. faecalis* biofilm. *Lasers in Medical Science*, 31(2), pp. 335–342.
- Betancourt, P. *et al.* (2019). Er,Cr:YSGG Laser-Activated Irrigation and Passive Ultrasonic Irrigation: Comparison of Two Strategies for Root Canal Disinfection. *Photobiomodulation, Photomedicine, and Laser Surgery*, 38(2), pp. 91–97.
- Blank-Gonçalves, L. M. *et al.* (2011). Qualitative analysis of the removal of the smear layer in the apical third of curved roots: Conventional irrigation versus activation systems. *Journal of Endodontics*, 37(9), pp. 1268–1271.
- Bueno, C. R. E. *et al.* (2019). Cleaning effectiveness of a nickel-titanium ultrasonic tip in ultrasonically activated irrigation: A SEM study. *Brazilian Oral Research*, 33, pp. 1–9.
- Donnermeyer, D. *et al.* (2019). Removal of Calcium Hydroxide from Artificial Grooves in Straight Root Canals: Sonic Activation Using EDDY Versus Passive Ultrasonic Irrigation and XPendo Finisher. *Journal of Endodontics*, 45(3), pp. 322–326.
- Dumani, A. *et al.* (2016). Antibacterial Efficacy of Calcium Hypochlorite with Vibringe Sonic Irrigation System on *Enterococcus faecalis*: An in Vitro Study. *BioMed Research International*, 2016.
- Duque, J. A. *et al.* (2016). Comparative Effectiveness of New Mechanical Irrigant Agitating Devices for Debris Removal from the Canal and Isthmus of Mesial Roots of Mandibular Molars. *Journal of Endodontics*. Elsevier Inc, 43(2), pp. 326–331.
- Eneide, C. *et al.* (2019). Antibiofilm activity of three different irrigation techniques: An in vitro study. *Antibiotics*, 8(3), pp. 1–8.
- Goel, S. and Tewari, S. (2009). Smear layer removal with passive ultrasonic irrigation and the NaviTip FX: a scanning electron microscopic study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology*. Elsevier Inc., 108(3), pp. 465–470.
- de Gregorio, C. *et al.* (2010). Efficacy of different irrigation and activation systems on the penetration of sodium hypochlorite into simulated lateral canals and up to working length: An in vitro study. *Journal of Endodontics*. Elsevier Ltd, 36(7), pp. 1216–1221.
- Hage, W. *et al.* (2019). Impact of different irrigant agitation methods on bacterial elimination from infected root canals. *Dentistry Journal*, 7(3), pp. 1–9.
- Haupt, F. *et al.* (2019). Effectiveness of different activated irrigation techniques on debris and smear layer removal from curved root canals: a SEM evaluation. *Australian Endodontic Journal*, pp. 1–7.

- Jensen, S. A. *et al.* (1999). Comparison of the Cleaning Efficacy of Passive Sonic Activation and Passive Ultrasonic Activation After Hand Instrumentation in Molar Root Canals. *Journal of Endodontics*, 25(11), pp. 735–736.
- Jiang, L. M. *et al.* (2010). Evaluation of a Sonic Device Designed to Activate Irrigant in the Root Canal. *Journal of Endodontics*. Elsevier Ltd, 36(1), pp. 143–146.
- Keskin, C., Sariyilmaz, E. and Sariyilmaz, Ö. (2017). Efficacy of XP-endo Finisher File in Removing Calcium Hydroxide from Simulated Internal Resorption Cavity. *Journal of Endodontics*, 43(1), pp. 126–130.
- Khaleel, H. Y. *et al.* (2013). Quantitative comparison of calcium hydroxide removal by endoactivator, ultrasonic and protaper file agitation techniques: An in vitro study. *Journal of Huazhong University of Science and Technology - Medical Science*, 33(1), pp. 142–145.
- Khaord, P. *et al.* (2015). Effectiveness of different irrigation techniques on smear layer removal in apical thirds of mesial root canals of permanent mandibular first molar: A scanning electron microscopic study. *Journal of Conservative Dentistry*, 18(4), pp. 321–326.
- Koçak, S. *et al.* (2016). Influence of passive ultrasonic irrigation on the efficiency of various irrigation solutions in removing smear layer: a scanning electron microscope study. *Microscopy Research and Technique*, 80(5), pp. 537–542.
- Mancini, M. *et al.* (2013). Smear layer removal and canal cleanliness using different irrigation systems (EndoActivator, EndoVac, and passive ultrasonic irrigation): Field emission scanning electron microscopic evaluation in an in vitro study. *Journal of Endodontics*. Elsevier Ltd, 39(11), pp. 1456–1460.
- Mancini, M. *et al.* (2017). FESEM evaluation of smear layer removal using different irrigant activation methods (EndoActivator, EndoVac, PUI and LAI). An in vitro study. *Clinical Oral Investigations*. Clinical Oral Investigations, 22(2), pp. 993–999.
- Matos, F. de S. *et al.* (2019). Effect of EDTA and QMIX ultrasonic activation on the reduction of microorganisms and endotoxins in ex vivo human root canals. *Brazilian Dental Journal*, 30(3), pp. 220–226.
- Neelakantan, P. *et al.* (2018). Effectiveness of irrigation strategies on the removal of the smear layer from root canal dentin. *Odontology*. Springer Japan, 107(2), pp. 142–149.
- Niu, L. N. *et al.* (2014). Effects of different sonic activation protocols on debridement efficacy in teeth with single-rooted canals. *Journal of Dentistry*. Elsevier Ltd, 42(8), pp. 1001–1009.
- Pedullà, E. *et al.* (2019). Antimicrobial efficacy of cordless sonic or ultrasonic devices on *Enterococcus faecalis*-infected root canals. *Journal of investigative and clinical dentistry*, 10(4), p. e12434.
- Rico-Romano, C. *et al.* (2016). An analysis in vivo of intracanal bacterial load before and after chemo-mechanical preparation: A comparative analysis of two irrigants and two activation techniques. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 8(1), pp. e9–e13.
- Rödig, T. *et al.* (2010). Effectiveness of different irrigant agitation techniques on debris and smear layer removal in curved root canals: A scanning electron microscopy study. *Journal of Endodontics*, 36(12), pp. 1983–1987.
- Rödig, T. *et al.* (2019). Micro-CT evaluation of sonically and ultrasonically activated irrigation on the removal of hard-tissue debris from isthmus-containing mesial root canal systems of mandibular molars. *International Endodontic Journal*, 52(8), pp. 1173–1181.
- Saber, S. E. D. and Hashem, A. A. R. (2011). Efficacy of different final irrigation activation techniques on smear layer removal. *Journal of Endodontics*. Elsevier Ltd, 37(9), pp. 1272–1275.
- Sáinz-Pardo, M. *et al.* (2014). Root canal penetration of a sodium hypochlorite mixture using sonic or ultrasonic activation. *Brazilian Dental Journal*, 25(6), pp. 489–493.
- Seet, A. N. *et al.* (2012). Qualitative comparison of sonic or laser energisation of 4% sodium hypochlorite on an *Enterococcus faecalis* biofilm grown in vitro. *Australian Endodontic Journal*, 38(3), pp. 100–106.
- Suman, S. *et al.* (2017). A comparative evaluation of smear layer removal using apical negative pressure (EndoVac), sonic irrigation (EndoActivator) and Er: YAG laser -An in vitro SEM study. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 9(8), pp. e981–e987.
- Topçuoğlu, H. S. *et al.* (2013). The effect of different final irrigant activation techniques on the bond strength of an epoxy resin-based endodontic sealer: A preliminary study. *Journal of Endodontics*, 40(6), pp. 862–866.

Türker, S. A. *et al.* (2013). Comparison of calcium hydroxide removal by self-adjusting file, EndoVac, and CanalBrush agitation techniques: An in vitro study. *Journal of Conservative Dentistry*, 16(5), pp. 439–443.

Urban, K. *et al.* (2017). Canal cleanliness using different irrigation activation systems: a SEM evaluation. *Clinical Oral Investigations*. *Clinical Oral Investigations*, 21(9), pp. 2681–2687.

Wiseman, A. *et al.* (2011). Efficacy of sonic and ultrasonic activation for removal of calcium hydroxide from mesial canals of mandibular molars: A microtomographic study. *Journal of Endodontics*. Elsevier Ltd, 37(2), pp. 235–238.