

MEIOS FÍSICOS DA IRRIGAÇÃO ENDODÔNTICA: DO TRADICIONAL ÀS NOVAS TENDÊNCIAS E MÉTODOS

MEANS PHYSICALS IRRIGATION ENDODONTIC: TRADITIONAL TO NEW TRENDS AND METHODS

HUGO **SEMPREBOM**¹, MARCIA ESMERALDA BIS FRANZONI **ARRUDA**², CARLA THAIS ROSADA **PERUCHI**^{3*}

1. Acadêmico do curso de graduação em Odontologia da Faculdade Ingá; 2. Especialista em Endodontia USP-Bauru. Mestre em Ciências da Saúde –UEM. Doutoranda em Endodontia- Universidade Estácio de Sá- RJ. Professora na disciplina de Endodontia da Faculdade Ingá. Paraná; 3. Especialista em Endodontia e Mestre em Odontologia Integrada pela Universidade Estadual de Maringá (UEM), Professora na disciplina de Endodontia da Faculdade Ingá. Paraná.

* Avenida Silvio Alves, 967. Jardim Pioneiro, Paçandu, Paraná, Brasil. CEP: 87140-000. carlaperuchi@gmail.com

Recebido em 26/08/2015. Aceito para publicação em 22/10/2015

RESUMO

A limpeza e modelagem dos canais radiculares realizadas pelo preparo biomecânico, são conquistadas através da ação conjunta dos meios químicos, representado pelo uso de substâncias ou soluções químicas irrigadoras, meios físicos, que compreendem os atos de irrigar e simultaneamente aspirar assim como inundar o canal radicular com as soluções irrigadoras e os meios mecânicos, representados pela ação dos instrumentos com os quais se efetua os diferentes métodos de instrumentação dos canais radiculares, de modo que os meios químicos e físicos combinados auxiliam os meios mecânicos para completar o processo de limpeza e diminuir a carga microbiana. Diferentes técnicas e dispositivos para aprimorar a etapa física de entrega das soluções irrigantes têm sido propostos, a fim de aumentar o fluxo e a distribuição das soluções de irrigação no âmbito do sistema de canais radiculares já que pela técnica convencional, estudos mostraram que a agulha usada oferece soluções não mais de 0-1,1 mm para além de sua ponta, o que é insuficiente para a limpeza completa da complexa anatomia do sistema de canais radiculares.

PALAVRAS-CHAVE: Irrigação; endodontia; meios físicos.

ABSTRACT

The cleaning and shaping of root canals performed by biomechanical preparation, are won through the joint action of the chemical, represented by the use of substances or irrigating chemical solutions, media, comprising the acts of irrigating and simultaneously vacuuming as well as flooding the root canal with irrigating solutions and mechanical means, represented by the action of the instruments with which it performs the different methods instrumentation of the root canals, so that the combined chemical and physical means assist the mechanical means to complete the cleaning process and reduce the microbial load. Different techniques and devices to en-

hance the physical delivery step of irrigating solutions have been proposed in order to increase the flow and the distribution of irrigation solutions within the root canal system as the conventional technique, studies showed that the used needle It offers no more than 0-1 to 1 mm beyond its point solutions, which is insufficient for complete cleaning of the complex anatomy of the root canal system.

KEYWORDS: Irrigation; endodontics; physical means

1. INTRODUÇÃO

O tratamento endodôntico tem como objetivo a limpeza e modelagem dos canais radiculares minimizando a quantidade de bactérias e seus subprodutos, por meio do preparo biomecânico¹, o qual didaticamente pode ser dividido em meios químicos: representado pelo uso de substâncias ou soluções químicas irrigadoras, meios físicos: que compreendem os atos de irrigar e simultaneamente aspirar assim como inundar o canal radicular com as soluções irrigadoras; e os meios mecânicos: representados pela ação dos instrumentos com os quais se efetua os diferentes métodos de instrumentação dos canais radiculares², de modo que os meios químicos e físicos combinados auxiliam os meios mecânicos para completar o processo de limpeza e diminuir a carga microbiana³. Sendo assim a irrigação torna-se parte essencial do tratamento, permitindo a limpeza além do que se pode alcançar apenas com a instrumentação^{4,5}, sua eficácia baseia-se tanto na ação de lavagem mecânica, como na capacidade química dos irrigantes em dissolver os tecidos⁶.

É oportuno considerar que a efetividade do método de irrigação depende de vários fatores, entre eles, a anatomia do canal radicular, volume utilizado, técnica de preparo do canal radicular, diâmetro do preparo apical, calibre das agulhas irrigadoras assim como a profundi-

dade de penetração das mesmas⁷. Endo assim para que a irrigação cumpra com seus objetivos, fatores importantes devem ser considerados durante o processo, como: se o sistema de irrigação é passível de alcançar toda a extensão do sistema de canais radiculares, particularmente no terço apical, e se é capaz de atingir áreas que não podem ser alcançadas puramente com a instrumentação mecânica, tais como canais laterais e istmos⁸⁻¹⁰. Os irrigantes devem estar em contato direto com as paredes dos canais, especialmente no terço apical¹¹, e quando há a presença de curvaturas no canal, a chegada da solução irrigadora torna-se ainda mais difícil quando executada pelos métodos tradicionais com cânulas¹².

Diferentes técnicas e dispositivos de entrega das soluções irrigantes têm sido propostos para aumentar o fluxo e distribuição das soluções de irrigação no âmbito do sistema de canais radiculares¹³, já que pela técnica convencional, estudos mostram que a agulha usada oferece soluções não mais de 0-1,1 mm para além da ponta da agulha, o que é insuficiente para a limpeza completa da complexa anatomia do sistema de canais radiculares (canais laterais, istmos, barbatanas e canais acessórios)¹⁴. Este trabalho teve como objetivo informar o leitor sobre as principais técnicas e dispositivos disponíveis para a realização da etapa operatória de irrigação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A revisão bibliográfica, a que se propôs este trabalho, foi realizada através de um levantamento nas principais bases de dados: Pubmed, Portal de Periódicos CAPES, SCIELO, BBO, BIREME e LILACS. Como palavras chaves utilizou-se os termos: irrigação; endodontia; meios físicos / irrigation; endodontics; physical means. Não houve restrição com relação ao intervalo de tempo. Inicialmente foram obtidos 134 artigos, em português, espanhol e inglês, dos quais foram selecionados, 77 artigos utilizados para essa revisão da literatura. Os critérios de exclusão foram artigos que não abordassem diretamente o tema em estudo e artigos noutros idiomas.

3. DESENVOLVIMENTO

Irrigação-aspiração tradicional usando agulhas e cânulas

Diversos meios físicos têm sido estudados e propostos para aperfeiçoar o processo de irrigação. A irrigação convencional por pressão positiva (IC) com o uso de seringas e agulhas tem sido o procedimento mais comumente utilizado, neste método, o irrigante é passivamente dispensado através de uma variedade de diferentes agulhas e cânulas flexíveis. Todavia não tem mostrado ser eficaz na região apical do canal radicular e em istmos ou extensões ovais^{15, 16}, e ha questionamentos a respeito de sua eficácia quando utilizada em casos que apresentam canais curvos¹⁷⁻¹⁹, o uso

de cânulas de calibres menores podem ser uma escolha para alcançar essas áreas mais profundas e obter uma melhor distribuição do fluido, minimizando as desvantagens acima citadas.

O tipo de agulha utilizada para a irrigação, bem como, o seu posicionamento no interior dos canais são importantes fatores a serem observados a fim de maximizar os efeitos da irrigação e evitar extrusão de solução. Certas agulhas e cânulas dispensam o irrigante pelas suas extremidades enquanto outras o distribuem através de extremidade fechada com aberturas laterais¹. A utilização de agulhas e cânulas com saída lateral de solução irrigadora tem sido proposta com a finalidade de dificultar a propulsão da solução irrigadora além do forame apical, causando acidentes e complicações decorrentes da extrusão de solução para os tecidos periapicais²⁰. Embasados em estudos que mostram que o fato de as agulhas terem abertura lateral ou apical não resulta em diferenças estatísticas significantes na limpeza dos canais radiculares, independentemente da dilatação²¹, parece lícito indicar o uso de agulhas com saída lateral de solução, a fim de evitar possíveis acidentes. Na figura 1, podem ser observados alguns modelos de cânulas, seringas e pontas de irrigação e aspiração comumente usadas.

Durante a irrigação convencional, o reabastecimento e troca do fluido não se estendem muito para além da ponta da agulha de irrigação^{22,23}. A entrega de solução irrigadora é de 0-1 a 1mm para além da ponta da agulha, fato preocupante já que a ponta da agulha normalmente localiza-se no terço coronário de canais atresícos, ou, no máximo, em terço médio de canais mais amplos²⁴. O bloqueio de vapor resulta em ar aprisionado no terço apical de canais radiculares podendo também dificultar a troca de irrigantes e afetar a eficácia do desbridamento do canal²⁵.

A eficácia de limpeza da irrigação dos canais radiculares pode ser influenciada por diversos fatores, como os diferentes diâmetros disponíveis de agulhas irrigadoras²⁶, o *design* da sua ponta^{27, 28}, a profundidade de penetração delas²⁹, o diâmetro final do preparo³⁰, o grau de curvatura do canal³¹, além do volume, do tipo e das propriedades da solução irrigadora utilizada³².

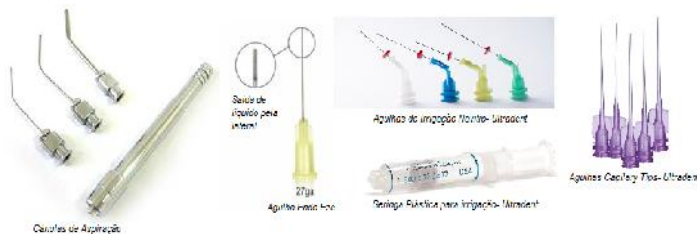


Figura 1. - Modelos de cânulas, seringas e pontas, comumente usadas, no processo de irrigação e aspiração pela técnica convencional. **Fonte:** Imagens capturadas disponíveis via Google imagens (<https://www.google.com/imghp?hl=pt-BR>).

Irrigação por pressão apical negativa (ANP)

Embora o sistema convencional (IC) por pressão positiva seja o mais utilizado na endodontia, o maior risco de lesionar os tecidos periapicais na expectativa de obtenção de melhores resultados, aprofundando a introdução da agulha no sistema de canais radiculares, não pode ser descartado. De acordo com a literatura consultada, o sistema EndoVac[®] (Discus Dental, Culver City, CA, EUA) que foi introduzido em 2007, utiliza a pressão negativa apical com intuito de oferecer segurança durante a irrigação na região apical dos canais radiculares³³⁻³⁵, consiste em um sistema de irrigação e aspiração combinados.

O objetivo deste sistema é de proporcionar um ambiente seguro e eficaz de limpeza, especialmente na região apical. O sistema é composto por três partes: a ponta de entrega master (MDT), uma macrocânula e microcânulas^{36,37}. A colocação da macrocânula no terço médio-apical do canal é seguida da colocação da microcânula no comprimento de trabalho, tal como recomendado pelo fabricante, permitindo que o irrigante seja aspirado em volume e fluxo suficiente para remover as camadas de difamação e deslocar detritos. Além disso, os orifícios da microcânula fornecem um portal de saída do irrigante para os detritos localizados na extremidade dos sistemas de canais³⁸.

Desai Himel *et al.*, (2009)³³ verificaram que o EndoVac foi capaz de ser utilizado no comprimento de trabalho com muita segurança, sem extrusão da solução para além da constrição apical do canal. O volume de irrigante que chega apicalmente pelo sistema foi significativamente maior do que o volume entregue pela irrigação convencional com seringa durante o mesmo período de tempo³⁹. O Endovac têm provado ser o mais seguro quando comparado a outros sistemas de irrigação, em termos de extrusão de dentes com ápices maduros³³. Cohenca *et al.* (2010)⁴⁰ afirmaram que este recurso pode ser utilizado para na irrigação de dentes imaturos para evitar a extrusão de solução irrigadora.

Método de irrigação ultrassônica

Estudos tem demonstrado que os sistemas de irrigação ultrassônicos podem proporcionar maior eficácia na limpeza e desinfecção dos canais radiculares, quando comparada à irrigação convencional⁴¹⁻⁴⁵, pois tem atingido áreas não acessíveis à instrumentação, reduzindo o número de bactérias, além de levar a solução irrigadora por toda extensão do preparo atingindo com facilidade o terço apical e o forame,

Na literatura encontram-se dois tipos de irrigação ultra-sônica: o primeiro onde a irrigação é feita simultaneamente com a instrumentação ultrasônica (UI) e o segundo, sem a instrumentação simultânea denominada de irrigação ultra-sônica passiva (PUI). A PUI foi primeiramente descrita por WELLER *et al.* (1980)⁴⁶. Se-

gundo Van der Sluis *et al.* (2007)⁴⁷, o termo “passiva” não é adequado para identificar o processo, uma vez que de fato ela é ativa. Na verdade, este termo esta relacionado a uma ação sem corte da lima ultrasonicamente ativada.

A PUI baseia-se na transmissão de energia acústica ou oscilante de um instrumento dentro do canal radicular⁴⁸. Nesta técnica, significa que o instrumento dentro do canal não entra em contato com as paredes, a probabilidade de formar cavidades ou formas irregulares, é significativamente reduzida⁴⁷.

O instrumento é colocado no centro do canal radicular após a modelagem⁴⁹. Em seguida, o dispositivo de irrigação é estimulado a oscilar e ativa o irrigante⁵⁰. Como o conduto já foi preparado, a lima pode se mover livremente e o irrigante pode penetrar mais facilmente no segmento apical do sistema de canais radiculares⁵¹.

O tempo que o irrigante permanece no canal é um fator a ser levado em conta durante PUI, com um período mais longo, há maior risco de contato entre instrumentos e paredes do canal, com conseqüente produção de lesões no interior dos canais⁵².

Existe também uma discussão sem consenso na literatura no que diz respeito a frequência ideal do ultra-som para realizar a PUI. Sabe-se que quanto maior a frequência utilizada o resultante em velocidade de fluxo é maior, o que ajuda a desalojar os detritos de forma mais eficiente⁵³. A energia ultra sônica gera frequências mais altas (25-40 kHz) do que as geradas pelos aparelhos sônicos (1-8 kHz)⁵⁴.

Na figura 3 pode ser observado os componentes do EndoActivator System[®] (EA) (Dentsply Tulsa Especialidades Odontológicas, Tulsa) que é um sistema sônico no qual utiliza pontas descartáveis de plástico lisa para que não corte dentina formando degraus. O sistema de ativação foi projetado para impulsionar o irrigante e produzir agitação vigorosa do fluido intracanal⁴⁴. Foi criado com o intuito de proporcionar uma penetração mais profunda da solução irrigadora para todas as áreas do espaço endodôntico, a fim de limpar efetivamente os detritos dos canais laterais, removendo a camada de smear layer e desalojando as aglomerações de biofilme⁵⁵. Ele compreende uma peça de mão portátil e três tipos de pontas descartáveis flexíveis de polímeros⁵⁶. Apresentam-se com 22 mm de comprimento, de tamanhos e conicidades variadas. As pontas são identificadas por cores, sendo a amarela a menor, a vermelha média e a azul a maior. São acopladas na peça de mão através de um encaixe de pressão e a seleção é feita verificando se a mesma fica solta a 2 mm do comprimento de trabalho⁵⁷. As oscilações mecânicas são produzidas principalmente na ponta do activador com uma frequência que varia de 1 a 10 kHz⁵⁸. Existem três opções de velocidade: 2.000, 6.000 e 10.000 ciclos por minuto (cpm). A velocidade de 10.000 cpm é a recomendada para otimizar o debri-

damento, remoção de smear layer e biofilme. O fabricante recomenda a sua utilização na irrigação final, preenchendo o conduto com EDTA a 17% e ativando a solução por 60 segundos⁵⁷. Na Figura 4, pode ser observado um exemplo de dispositivo ultrassônico utilizado para irrigação endodôntica.



Figura 2. Imagens ilustrativas do sistema de irrigação por pressão apical negativa ENDOVAC[®]. Fonte: Figuras retiradas do artigo The EndoVac Method of Endodontic Irrigation, Part 3: System Components and Their Interaction. G. John Schoeffel, DDS, MMS August 2008 Dentistry Today.



Figura 3. Componentes do sistema sônico ENDOACTIVATOR SYSTEM[®]. Fonte: Imagens disponíveis em: <http://www.endogroup.com.br/tecnologia.html>. Acesso em: 26/08/2015



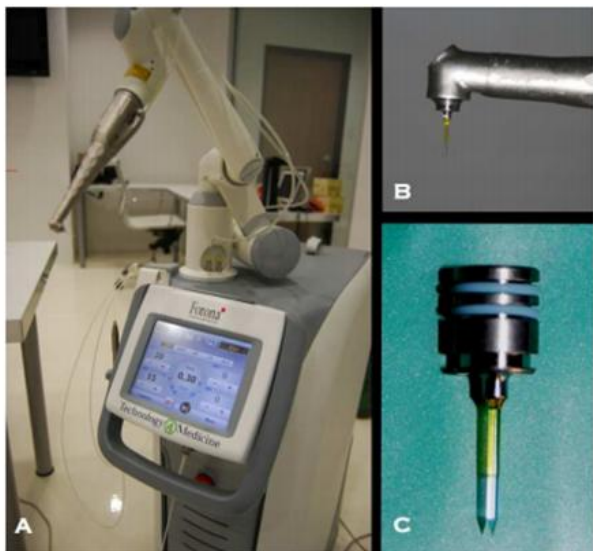
Inserto a ser acoplado ao aparelho de ultrassom Pro Ultra PiezoFlow Dentsply[®]

Figura 4. Exemplo de dispositivo ultrassônico utilizado para irrigação endodôntica. Fonte: Imagens disponíveis em: <http://www.tulsadentalspecialties.com>. acesso em: 20/08/2015

Método de irrigação auxiliada por laser PIPS (Photon initiated acoustic streaming)

O uso de lasers em diferentes comprimentos de onda tem sido proposto para o complemento dos procedimentos de limpeza no tratamento endodôntico, como um método para produzir cavitação de líquidos, aumentando assim, a capacidade de limpeza⁵⁹⁻⁶². Na figura 5 pode-se observar um equipamento de laser e os componentes utilizados para sua utilização na endodontia. A Irrigação ativada por laser foi introduzida como um método poderoso para a irrigação do canal radicular⁶³. Ele funciona no princípio de transferência de energia pulsada para ativar as soluções de irrigação⁶⁴. Quando os pulsos de laser são focados dentro de um fluido ocorre à produção de plasma. A transição da luz do laser da ponta de ativação ao fluido cria uma onda de pressão fotoacústica, a qual pode induzir a cavitação de líquidos no interior do canal radicular sem ocasionar efeitos térmicos sobre a superfície dentinária⁶⁴.

Essa técnica foi utilizada para eliminar a smear layer⁶⁵ ou debris dentinários com resultados promissores⁶⁶, o que a torna adequado para utilização em desinfecção e limpeza do canal radicular⁶⁷. Uma limitação considerável, no entanto, é a emissão unidirecional do feixe de laser, o que torna difícil acessar a parede do canal radicular inteiro com o laser. A fibra de laser deve ser movida repetidamente em um movimento em espiral ao longo das paredes do canal radicular, a fim de maximizar a área exposta ao feixe de laser, mas mesmo isso não é completamente eficiente e a toda a parede do canal radicular não irá ser exposta ao feixe de laser^{68,69}.



Equipamento Laser Er:YAG Fotona utilizado para induzir cavitação da solução irrigadora (A); Peça de mão (B); Fibra endodôntica de quartzo (C)

Figura 5. Equipamento de laser e os componentes utilizados para sua utilização na endodontia. **Fonte:** Disponível em: Google: Downloads/RonaldOrdinolaZapata

A irrigação assistida por laser⁶⁷, foi avaliada utilizando intensidades que variam de 25-300mJ⁷⁰. É recomendado cinco segundos de repouso entre cada ativação⁷¹ para evitar aumento da temperatura acima do limite de segurança biológica.

A utilização de comprimentos de onda com alto poder, tem desvantagens consideráveis, que os tornam perigosos para fins antibacterianos⁷². Derretimento da dentina, fissuras na superfície, e ligeira formação de detritos são outras desvantagens de alguns lasers com elevados níveis de energia⁷²⁻⁷⁶ e, além disso, a complexidade e custo elevado destes dispositivos devem ser levados em conta⁷⁶. A eficácia da técnica de irrigação ativada por laser para limpar dentina contaminada ainda necessita de mais estudos, para consolidação de seu uso.

4. CONCLUSÃO

Atualmente Os fatores que devem ser considerados a fim de se melhorar a eficácia da irrigação convencional incluem a proximidade da agulha de irrigação ao ápice, maior volume de solução irrigadora e menores calibres de agulhas de irrigação.

O sistema de irrigação por pressão apical negativa, Sistema EndoVac®, promove extrusão limitada ou nenhuma extrusão da solução irrigadora além do forame apical. Sendo bem indicada para tratamento endodôntico de dentes imaturos, cuja rizogênese não foi completa.

A irrigação ultrassônica passiva embora mais eficaz que a irrigação convencional, aumentando significativamente a limpeza, não é capaz de remover todas as sujidades do sistema de canais radiculares.

A utilização de laser na clínica de endodontia é uma alternativa atual, porém mais estudos devem ser realizados com base em protocolos previamente estabelecidos para consolidação de seu uso, a complexidade e custo elevado destes dispositivos devem ser levados em conta.

REFERÊNCIAS

- [1]. Ferreira M, Simões R, Carrilho E. Remoção de hidróxido de cálcio dos canais radiculares: irrigação convencional vs sônica. *Rev Port Estomatol Med Dent Cir Maxilofac.* 2014; 55(2):97-101.
- [2]. Leonardo MR. Tratamento de canais radiculares: avanços tecnológicos. Porto Alegre, Artes Medicas. 2012.
- [3]. De Gregorio C, Estevez R, Cisneros R, Paranjpe A, Cobenca N. 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. *J Endod.* 2010; 55(2):1216-21.
- [4]. Svec TA, Harrison JW. Chemomechanical removal of pulpal and dentinal debris with sodium hypochlorite and hydrogen peroxide vs normal saline solution. *J Endod* 1977; 3:49-53.
- [5]. Gulabivala K, Patel B, Evans G, et al. Effects of mechanical and chemical procedures on root canal surfaces. *Endodontic Topics* 2005; 10:103-22.
- [6]. Goel S, Tewari S. Smear Layer removal with passive ultrasonic irrigation and NaviTip FX: a scanning electron microscopic study. *J oooo.* 2009; 465-70.
- [7]. Lopes H P. Endodontia – Biologia e Técnica. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 2010.
- [8]. Dovgyallo GI, Migun NP, Prokhorenko PP. The complete filling of dead-end conical capillaries with liquid. *J Eng Phy* 1989; 56:395-7.
- [9]. Migun NP, Azuni MA. Filling of one-side-closed capillaries immersed in liquids. *J Coll Interf Sci* 1996; 181:337-40.
- [10].Pesse AV, Warriar GR, Dhir VK. An experimental study of the gas entrapment process in closed-end microchannels. *Int J Heat Mass Transfer* 2005; 48:5150-65
- [11].Gu LS, Kim JR, Ling J, Choi KK, Pashley DH, Tay FR. Review of contemporary Irrigation Agitation Techniques And Devices. *J Endod.* 2009;35:791-804.
- [12].Uroz-Torres D, González-Rodríguez MP, Ferrer-Luque CM. Effectiveness of the En-doActivator system in removing the smear layer after root canal instrumentation. *J En-dod.* 2010; 36(2):308-11.
- [13].Gu LS, Kim JR, Ling J, et al. Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *J Endod* 2009; 35:791-804.
- [14].Villas-Boas MH, Bernardineli N, Cavalini Cavenago B, et al. Micro-computed tomography study of the internal anatomy of mesial root canals of mandibular molars. *J Endod* 2011; 37:1682-6.
- [15].Nielsen BA, Craig Baumgartner J. Comparison of the EndoVac system to needle irrigation of root canals. *J Endod* 2007; 33:611-5.

- [16].Shin SJ, Kim HK, Jung IY, Lee CY, Lee SJ, Kim E. Comparison of the cleaning efficacy of a new apical negative pressure irrigating system with conventional irrigation needles in the root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2010; 109:479-84.
- [17].Calt S, Serper A. Time-dependent effects of EDTA on dentin structures. *J Endod.* 2002; 28:17-19.
- [18].Ciucchi B, Khettabi M, Holz J. The effectiveness of different endodontic irrigation procedures on the removal of the smear layer: A scanning electron microscopic study. *Int Endod J.* 1989; 22:21-8.
- [19].da Costa Ribeiro A, Nogueira GE, Antoniazzi JH, Moritz A, Zezell DM. Effects of diode laser (810 nm) irradiation on root canal walls: Thermographic and morphological studies. *J Endod.* 2007; 33:252-5.
- [20].Bosch-Aranda M. Complications following an accidental sodium hypochlorite extrusion: A report of two cases. *J Clin Exp Dent* 2012; 4(3):e194-8.
- [21].De Loiola LE, Guerreiro-Tanomaru JM, Morgental RD, Tanomaru-Filho M. Influência da agulha irrigadora e da dilatação do canal radicular na eficácia da irrigação endodôntica. *RSBO.* 2011; 8(2):138-44.
- [22].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; 42:144-55.
- [23].Chow TW. Mechanical effectiveness of root canal irrigation. *J Endod.* 1983; 9:475-9.
- [24].Ekim SNA, Erdemir A. Comparison of Different Irrigation Activation Techniques on Smear Layer Removal: An in vitro Study. *J Wiley.* 2015; 78:230-9.
- [25].Tay FR, Gu LS, Schoeffel GJ, et al. Effect of vapor lock on root canal debridement by using a side-vented needle for positive-pressure irrigant delivery. *J Endod.* 2010; 36: 745-50.
- [26].Hsieh YD, Gau CH, Kung Wu SF, Shen EC, Hsu PW, Fu E. Dynamic recording of irrigating fluid distribution in root canals using thermal image analysis. *Int Endod J.* 2007; 40(1):11-7.
- [27].Boutsioukis C, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Wesselink PR, Van der Sluis LWM. Evaluation of irrigant flow in the root canal using different needle types by an unsteady computational fluid dynamics model. *J Endod.* 2010; 36(5):875-9.
- [28].Shen Y, Gao Y, Qian W, Ruse ND, Zhou X, Wu H et al. Three-dimensional numeric simulation of root canal irrigant flow with different irrigation needles. *J Endod.* 2010; 36(5):884-9.
- [29].Sedgley CM, Nagel AC, Hall D, Applegate B. Influence of irrigant needle depth in removing bioluminescent bacteria inoculated into instrumented root canals using real-time imaging in vitro. *Int Endod J.* 2005; 38(2):97-104.
- [30].Usman N, Baumgartner JC, Marshall JG. Influence of instrument size on root canal debridement. *J Endod.* 2004; 30(2):110-2.
- [31].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.
- [32].Gulabilava K, Patel B, Evans G, Ng YL. Effects of the mechanical and chemical procedures on root canal surfaces. *Endod Top.* 2005; 10(1):103-22.
- [33].Desai P, Himel V. Comparative safety of various intracanal irrigation systems. *J Endod* 2009; 35:545-49.
- [34].Nielsen BA, Baumgartner JC. Comparison safety of various intracanal irrigation system. *J Endod* 2009; 35:545-49.
- [35].Schoeffel GJ. The EndoVac method of endodontic irrigation: part 2—efficacy. *Dent Today.* 2008; 27(1):82, 84, 86-7.
- [36].Saber Sel-D, Hashem AA. Efficacy of different final irrigation activation techniques on smear layer removal. *J Endod;* 2011; 37:1272-5.
- [37].Schoeffel GJ. The EndoVac method of endodontic irrigation, part 2 – Efficacy. *Dent Today.* 2008; 27:82, 84, 86-7.
- [38].Parente JM, Loushine RJ, Susin L, et al. Root canal debridement using manual dynamic agitation or the EndoVac for final irrigation in a closed system and an open system. *Int Endod J.* 2010; 43:1001-12.
- [39].Nielsen BA, Craig Baumgartner J. Comparison of the EndoVac system to needle irrigation of root canals. *J Endod.* 2007; 33:611-5.
- [40].Cohenca N, Heilborn C, Johnson JD, Flores DS, Ito IY, da Silva LA. Apical negative pressure irrigation versus conventional irrigation plus triantibiotic intracanal dressing on root canal disinfection in dog teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2010; 109(1):e42-6.
- [41].Black-Gonçalves LM, Nabeshima CK, Martins GH, Machado ME. Qualitative analysis of the removal of the smear layer in the apical third of curved roots: conventional irrigation versus activation systems. *J Endod.* 2011; 37:1268-71.
- [42].Burlison A, Nusstein J, Reader A, Beck M. The in vivo evaluation of hand/rotary/ultrasound instrumentation in necrotic, human mandibular molars. *J Endod.* 2007; 33:782-7
- [43].Lee SJ, Wu MK, Wesselink PR. The effectiveness of syringe irrigation and ultrasonic to remove debris from simulated irregularities within prepared root canal walls. *Int Endod J.* 2004; 37:672-8
- [44].De Gregorio C, Estevez R, Cisneros R, Heilborn C, Cohenca N. Effect of EDTA, sonic, and ultrasonic activation on the penetration of sodium hypochlorite into simulated lateral canals: an in vitro study. *J Endod.* 2009;35:891-5
- [45].Spoleti P, Siragusa M, Spoleti MJ. Bacteriological evaluation of passive ultrasonic activation. *J Endod.* 2003; 29:12-4
- [46].Weller RN, Brady JM, Bernier WE (1980) Efficacy of ultrasonic cleaning. *Journal of Endodontics.* 1980; 6:740-3.
- [47].van der Sluis LW, Versluis M, Wu MK, et al. Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *Int Endod J.* 2007; 40:415-26.
- [48].Ahmad M, Pitt Ford TR, Crum LA. Ultrasonic debridement of root canals: acoustic streaming and its

- possible role. *Journal of Endodontics*. 1987; 14:490-9.
- [49].Tasdemir T, Er K, Celik D, Yildirim T. Effect of Passive Ultrasonic Irrigation on Apical Extrusion of Irrigating Solution. *J Eur Dent*. 2008; 2:198-203.
- [50].Krell KV, Johnson RJ, Madison S. Irrigation patterns during ultrasonic canal instrumentation. Part I. K-type files. *J Endod* 1988; 14:65-8.
- [51].Krell KV, Johnson RJ. Irrigation patterns of ultrasonic endodontic files. Part II. Diamond-coated files. *Journal of Endodontics*. 1988; 14, 535-7.
- [52].de Moor RJ, Meire M, Goharkhay K, Moritz A, Vanobbergen J. Efficacy of ultrasonic versus laser-activated irrigation to remove artificially placed dentin debris plugs. *J Endod*. 2010;6:1580-3.
- [53].Jiang LM, Verhaagen B, Versluis M, Van der Sluis L. Evaluation of a sonic device designed to activate irrigant in the root canal. *J Endod*. 2010; 36:143-6.
- [54].Sabins RA, Johnson JD, Hellstein JW. A comparison of the cleaning efficacy of shortterm sonic and ultrasonic passive irrigation after hand instrumentation in molar root canals. *Journal of Endodontics*. 2003; 29:674-8.
- [55].Caron, G., Nham, K., Bronnec, F., and Machtou, O. Effectiveness of different final irrigant activation protocols on smear layer removal in curved canals. *J Endod*. 2008; 36:1361-6.
- [56].Weller RN, Brady JM, Bernier WE. Efficacy of ultrasonic cleaning. *J Endod*. 1980; 6:740-3.
- [57].Ruddle CJ. Endodontic disinfection tsunami irrigation. *Endodontic Practice*. 2008; 11:7-15.
- [58].Khaord P, Amin A, Shah MB, Uthappa R, Raj N, Kachalia T, Kharod H. 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. *J Conserv Dent*. 2015;18(4):321-6.
- [59].Kimura Y, Wilder-Smith P, Matsumoto K. Lasers in endodontics: a review. *Int Endod J*. 2000; 33:173-85.
- [60].Stabholz A, Sahar-Helft S, Moshonov J. Laser in endodontics. *Dent Clin North Am* 2004; 48:809-32.
- [61].Meire M, De Moor RJG. Lasers in endodontics: laser disinfection, an added value. *Endod Pract Today* 2007; 1:159-72.
- [62].De Moor RJG, Torbeyns D, Meire M. Lasers in endodontics. Part 2: root canal wall cleanliness and modification. *Endod Pract Today* 2009; 3:19-33.
- [63].Kivanç BH, Arisu HD, Yanar NO, Silah HM, Inam R, Gorgul G. Apical extrusion of sodium hypochlorite activated with two laser systems and ultrasonics: a spectrophotometric analysis. *BMC Oral Health*. 2015; 15(17):1-5.
- [64].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; 34:1524-7.
- [65].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; 27:273-80.
- [66].de Groot SD, Verhaagen B, Versluis M, *et al.* Laser-activated irrigation within root canals: cleaning efficacy and flow visualization. *Int Endod J* 2009; 42:1077-83.
- [67].Stabholz A, Sahar-Helft S, Moshonov J. Laser in endodontics. *Dent Clin North Am*. 2004; 48:809-32.
- [68].De Moor RJG, Torbeyns D, Meire M. Lasers in endodontics. Part 2: root canal wall cleanliness and modification. *Endod Pract Today*. 2009; 3:19-33.
- [69].Blanken JW, Verdaasdonk RM. Cavitation as a working mechanism of the Er, Cr: YSGG laser in endodontics: a visualization study. *J Oral Laser Appl*. 2007; 7:97-106.
- [70].Gutknecht N, Franzen R, Meister J, Vanweersch L, Mir M. Temperature evolution on human teeth root surface after diode laser assisted endodontic treatment. *Lasers Med Sci*. 2005; 20:99-103.
- [71].Alfredo E, Souza-Gabriel AE, Silva SR, Sousa-Neto MD, Brugnera Jr A, Silva-Sousa YT. Morphological alterations of radicular dentine pretreated with different irrigating solutions and irradiated with 980-nm diode laser. *Microsc Res Tech*. 2009; 72(1):22-7.
- [72].Frentzen M, Koort HJ, Thiensiri I. Excimer lasers in dentistry: future possibilities with advanced technology. *Quintessence Int*. 1992; 23(2):117-33.
- [73].Cox CJ, Pearson GJ, Palmer G. Preliminary in vitro investigation of the effects of pulsed Nd: YAG laser radiation on enamel and dentine. *Biomaterials* 1994; 15(14):1145-51.
- [74].Nomelini SM, Souza-Gabriel AE, Marchesan MA, Sousa-Neto MD, Silva-Sousa YT. Ultrastructural analysis of radicular dentine surface submitted to CO₂ laser at different parameters. *Microsc Res Tech* 2009;72(10):737-43.
- [75].Moura-Netto C, Guglielmi Cde A, Mello-Moura AC, Palo RM, Rag-gio DP, Caldeira CL. Nd:YAG laser irradiation effect on apical intracanal dentin - a microleakage and SEM evaluation. *Braz Dent J* 2011; 22(5):377-81.
- [76].Konopka K, Goslinski T. Photodynamic therapy in dentistry. *J Dent Res* 2007; 86(8):694-707.