

Álvaro Miguel Lopes Piedade Gomes

Irrigação em Endodontia

UNIVERSIDADE FERNANDO PESSOA

Faculdade de Ciências da Saúde

Porto, 2016

Álvaro Miguel Lopes Piedade Gomes

Irrigação em Endodontia

UNIVERSIDADE FERNANDO PESSOA

Faculdade de Ciências da Saúde

Porto, 2016

Álvaro Miguel Lopes Piedade Gomes

Irrigação em Endodontia

Dissertação apresentada à Universidade
Fernando Pessoa como parte dos requisitos para
obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

(Álvaro Miguel Piedade Gomes)

Resumo

Introdução e objectivos - O número de casos com reincidência de infecções pós-tratamento endodôntico, resultantes de uma incompleta desinfecção dos canais radiculares ainda é significativo e requer aperfeiçoamento. A complexidade do sistema de canais radiculares constitui o principal obstáculo à instrumentação e desinfecção dos mesmos em toda a sua extensão. A irrigação é um passo chave durante a instrumentação que possibilita a limpeza e desinfecção dos canais radiculares e através da qual, as bactérias, toxinas e os seus bio-produtos são eliminados. Este trabalho tem como objectivo descrever as várias técnicas de irrigação actualmente em uso na prática clínica.

Materiais e métodos – Para elaboração deste trabalho de revisão foi efectuada uma pesquisa bibliográfica nos motores de busca: PubMed e Science Direct, utilizando como palavras-chave “endodontic irrigation”, “endodontic irrigants” e “sodium hypochloride”. Foram incluídos artigos desde 1915 a 2016 e a pesquisa foi realizada nos meses de Abril a Junho de 2016.

Desenvolvimento - Um irrigante endodôntico deve responder a um conjunto de requisitos, entre os quais a eficácia na desinfecção total e definitiva dos canais radiculares, a eliminação da *smear layer*, deve ser não-antigénico, não tóxico e não carcinogénico e preservar a função do dente. O irrigante mais utilizado é o hipoclorito de sódio, mas alternativas têm sido amplamente utilizadas, tais como clorexidina, ácido etilenodiaminotetra-acético, e irrigantes combinados, tais como uma mistura de tetraciclina, um ácido e um detergente (MTAD), o Hypoclean® e o QMix®.

Conclusão - Embora o NaOCl seja a solução que mais se aproxime do irrigante perfeito, a sua toxicidade representa um risco para o paciente e as suas limitações enquanto desinfectante são factores a considerar. A conjugação do NaOCl com outros irrigantes, bem como a formulação dos irrigantes compostos, tem vindo a melhorar a eficiência dos tratamentos endodônticos. No entanto, justifica-se o permanente investimento científico nesta área para que se reduza para níveis esporádicos os casos de reinfecção.

Abstract

Introduction and objectives - The number of reincident infections post-treatment resulting from incomplete disinfection of the root canal is still significant and requires improvement. The complexity of the root canal system represents a serious obstacle to the instrumentations and disinfection along the total extension of the canal. The irrigation is the key step during instrumentaion that allows the cleaning and disinfection of the root canal, through which bacteria, toxins, bioproducts and tissue debris are eliminated. The aim of this work is to describe the variety of irrigation techniques in endodontics currently used in the clinical practice.

Materials and methods - In order to elaborate this review, a bibliografic research was made using the motors PubMed and Science Direct and “endodontic irrigation”, “endodontic irrigants” and “sodium hypochloride” were applied as keywords. This review includes scientific articles from 1915 to 2016 and the research lasted from Abril to June 2016.

Development - An endodontic irrigant is cleaning solution able to disinfect totally and definetily the root canal, eliminate the smear layer without inducing an antigenic response, nor being toxic or carcinogenic and preserve the teeth function. The most widely used irrigant is sodium hypochlorite, but other compounds have also been largely used, such as chlorhexidine, ethylenediaminetetraacetic acid, and combined irrigants, such as the mixture of tetracycline, an acid and a detergent (MTAD), Hypoclean® and QMix®.

Conclusion - Although NaOCl is the closest to the perfect irrigant, its toxicity remains a clear risk to the patient e its limitations as disinfectant agent can not be neglected. The combination of NaOCL with other solutions, as well as new formulations, have improved the efficiency of the endodontic treatment. Nevertheless, it is necessary to keep investing in this field so that the cases of reinfection are reduced to sporadic cases.

Agradecimentos

Ao meu Filho Tomás, que tantas vezes esperou por mim, nasceu e cresceu neste projecto e tanta força me deu, Obrigado filho!

À minha Esposa Sofia, pela compreensão e paciência com o marido, recém casados, em 15 dias passamos da Lua de Mel para esta Etapa, Obrigado!

Ao meu Pai, pela transmissão de valores, pelo sacrifício, pela permanente motivação para a valorização pessoal, pela abertura de novos Horizontes. Obrigado pela Ajuda, pelo exemplo, pela forma de viver, pela coragem, pelo desafio e pela forma de estar. Obrigado!

À minha Mãe, pela forma de estar, pela compreensão, pela escuta, pela motivação, pela bondade, pelas horas de almoço, pelos segundos, minutos, horas de apoio e carinho. Obrigado!

Aos meus Pais por tudo que me proporcionaram, pelo que vivi, pelo que vivo e viverei que jamais esquecerei. Obrigado!

Aos meus irmãos, Vasco e Sofia, pelo apoio e compreensão, pela amizade, pela reciprocidade, pelos valores que partilhamos e pensamos. Obrigado!

Aos meus avós que são eternos! Obrigado!

Ao meu amigo Jorge Vaz, pela compreensão, amizade, pela forma de estar e viver.

Índice

Resumo	2
Abstract	3
Introdução	6
I. Patologia Endodôntica	6
Etiologia e patogênese da patologia endodôntica	6
II. Anatomia geral do sistema de canais radiculares	8
III. Diagnóstico endodôntico	11
IV. Tratamento endodôntico não-cirúrgico	12
Smear layer	14
Desenvolvimento	16
I. Materiais e Métodos	16
II. Irrigantes endodônticos	17
Hipoclorito de sódio	18
Ativação ultrassônica do NaOCl	20
Irrigantes quelantes	21
Digluconato de clorexidina (CHX)	23
Irrigantes combinados	24
III. Sistemas de ativação de irrigantes	28
Técnicas de agitação manual	28
Sistemas de agitação mecânica assistida	28
Ativação sônica	29
Irrigação por pressão apical negative (sistema Endovac)	30
Ativação por laser	31
Discussão	33
Bibliografia	37

Índice de figuras e tabelas

Figura 1 - Locais críticos para reinfeção microbiana após tratamento de canal....	7
Figura 2 - Classificação de Weine e Vertucci dos sistemas de canais radiculares	10
Figura 4 - Reações químicas entre a polpa e o NaOCl. A) Saponização. B) Neutralização. C) Cloraminação.....	19
Figura 5 - Solução comercial de EDTA a 17% e agulhas de irrigação.	22
Figura 6 - (A) Hypoclean® (Ogna). Solução de lavagem. (B) MTAD (biopure). Irrigante antibacteriano.	27
Figura 7 - (A) Sistema Endovac completo, incluindo a tubagem e sistema de vácuo. (B) Macrocânula associada ao instrumento de manuseio para libertação do irrigante na porção coronal do canal. (C) A microcânula associada a uns instrumentos de manuseio substitui a macrocânula na irrigação da porção apical. (D) Sistema de libertação e /sucção associados a uma seringa. O irrigante é libertado na câmara pulpar pela agulha de metal. Qualquer excesso é imediatamente sugado através do tubo de plástico que envolve a agulha e que está associado à tubagem de sucção..	31
Tabela 1 - <i>Guidelines</i> recomendadas para o diagnóstico endodôntico	12

Introdução

I. Patologia Endodôntica

A endodontia refere-se ao ramo da Medicina Dentária que se ocupa do estudo da polpa dentária, de todo o sistema de canais radiculares e dos tecidos periapicais. A patologia endodôntica, por sua vez, consiste no conjunto de doenças que afetam estes tecidos na sequência de cáries, fraturas dentárias, trauma ortodôntico, lesões endo-periodontais, intervenções prostéticas, entre outros. O tratamento endodôntico visa tratar a patologia endodôntica garantindo a manutenção do dente na cavidade oral e a saúde dos tecidos periapicais (Cohen, 2011).

Etiologia e patogênese da patologia endodôntica

A invasão da polpa dentária por microrganismos é a principal causa da patologia endodôntica. Vários estudos descreveram a composição de amostras de polpa dentária com patologia endodôntica e, todos os casos estão associados à presença de várias espécies de bactérias, toxinas e bio-produtos presentes nos canais radiculares (Cohen, 2011, Rhodes, 2006)

As bactérias gram-negativas anaeróbias são os agentes patogénicos mais predominantes neste tipo de lesões (Sundqvist et al., 1976, Fabricius et al., 1982, Kantz and Henry, 1974). A invasão da polpa dentária ocorre através da sua exposição direta aos microrganismos (cáries e fraturas) ou via *microleakage* coronal (Swanson and Madison, 1987, Madison et al., 1987, Moller et al., 1981). Fraturas coronais, resultantes ou não de cárie dentária, podem estender-se até à câmara pulpar onde os tecidos são expostos aos microrganismos, dando origem ao processo infeccioso (Fabricius et al., 1982, Cohen, 2011).

O maior desafio no tratamento de endodôntico é a desinfecção total e permanente do sistema de canais radiculares (SCR). A anatomia deste sistema é altamente complexa e, sobretudo, de difícil acesso durante a instrumentação. Assim, é frequente a reinfecção dos canais radiculares após tratamento devido a preenchimentos de baixa qualidade, ineficiente desinfecção ou reinfecção via *microleakage* (Abbott and Yu, 2007, Siqueira et al., 1997, (Tabassum and Khan, 2016, Kumar et al., 2015). A figura 1 indica *hotspots* no sistema de canais radiculares onde o ecossistema de bactérias remanescentes de um tratamento prévio podem adaptar-se e reinfestar os tecidos (Rhodes, 2006).

Independentemente da via de entrada dos microrganismos na câmara pulpar, é necessário distinguir os casos vitais dos não-vitais (Kantz and Henry, 1974). A pulpite consiste numa reação inflamatória do tecido a um agente patogénico oportunista que existe no ambiente oral e que atinge a polpa (Swanson and Madison, 1987). Uma polpa vital é capaz de reagir ao agente patogénico através de uma reação inflamatória. No entanto, a infeção é progressiva e o tecido vital é substituído por tecido necrótico (Moller et al., 1981). Por outro lado, os casos não-vitais com sinais radiográficos de rarefação periapical contêm microrganismos cultiváveis (Madison et al., 1987). Consequentemente, o tratamento de casos vitais deve focar-se numa abordagem asséptica com vista à prevenção da infeção de um tecido primariamente estéril. Deste modo, a remoção total de todos os microrganismos presentes nos canais radiculares é uma questão fundamenta Este trabalho tem como objectivo descrever as várias técnicas de irrigação actualmente em uso na prática clínica.

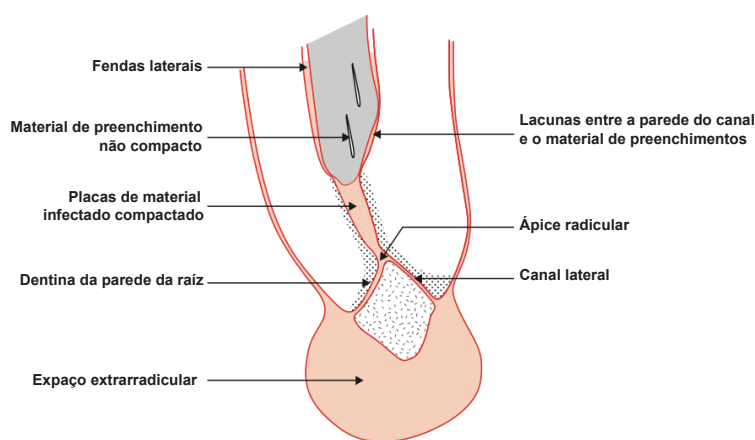


Figura 1 - Locais críticos para reinfecção microbiana após tratamento de canal. Adaptado de (Rhodes, 2006)

II. Anatomia geral do sistema de canais radiculares

A anatomia exterior dos dentes é bastante simplista e em nada reproduz a anatomia interna destes, muito mais complexa e variada apresentando ramificações, canais acessórios ou canais laterais. Esta anatomia interna complexa e diversificada está descrita maioritariamente para os dentes molares, pré-molares e incisivos inferiores (Neto, 2011).

Como referido anteriormente, o tratamento endodôntico visa a manutenção de um dente não-vital na cavidade oral, mantendo este a sua função fisiológica (Martin, 2014). Para um correcto tratamento, é essencial o conhecimento aprofundado da anatomia interna do dente, e mais concretamente da anatomia dos canais radiculares, não só clássica mas sobretudo as suas variações anatómicas.

Actualmente existem duas classificações aplicadas à anatomia dos canais radiculares, classificação de Weine e de Vertucci (figura 2). No entanto, a mais amplamente aceite e utilizada é a classificação de Vertucci elaborada em 1984 (cit in Gulabivala et al., 2001).

Esta classificação bastante detalhada descreve o sistema de canais radiculares relacionando-os com o seu número e a sua localização dividindo-os em oito grupos.

Os oito grupos da classificação de Vertucci são (Vertucci cit in Lucena, 2013):

Tipo I - Um único canal que se estende da câmara pulpar até ao ápice;

Tipo II - Dois canais separados que deixam a câmara pulpar e se unem próximo ao ápice, terminando então num único canal;

Tipo III - Um único canal que deixa a câmara pulpar e se divide em dois dentro da raiz, unindo-se posteriormente e terminando num único canal;

Tipo IV - Dois canais separados e distintos que deixam a câmara pulpar até ao ápice;

Tipo V - Um canal deixando a câmara pulpar, dividindo-se posteriormente próximo ao ápice em dois canais distintos;

Tipo VI - Dois canais separados deixam a câmara pulpar, vindo a unir-se no corpo da raiz e dividindo-se depois novamente, próximo ao ápice, em dois canais distintos.

Tipo VII - Um canal que deixa a câmara pulpar, divide-se em dois, une-se novamente no corpo da raiz e próximo ao ápice se divide mais uma vez dando origem a dois canais distintos;

Tipo VIII - Três canais separados e distintos que se estendem da câmara pulpar até ao ápice.

Posteriormente outros autores acrescentaram a esta classificação outros tipos morfológicos (cit in Gulabivala et al., 2001).

Weine em 1969 tinha criado um sistema mais simples dividindo a anatomia dos canais em quatro tipologias (Weine cit in Nalapatti, 2007):

Tipo I - Um canal desde a câmara pulpar até ao ápice;

Tipo II - Dois canais que se fundem originando um único canal;

Tipo III - Um canal que se divide em dois, originando dois forâmenes distintos.

Tipo IV - Um canal divide-se perto do ápice, originando dois canais distintos.

Um estudo à prevalência das variações anatómicas na população portuguesa, tendo por base a classificação de Weine, concluiu existir 39,8% de alterações do tipo I, 22,9% do tipo II, 29,7% do tipo III e 7,6% do tipo IV salientando também que o tipo I de Weine é mais frequente nos segundos pré-molares inferiores, o tipo II nos primeiros pré-molares inferiores e o tipo III nos primeiros pré-molares maxilares não estando o Tipo IV associado directamente a nenhum grupo de dentes (Guimarães, 2012).

Este estudo demonstra uma quase divisão equitativa das variações do tipo I, II e III na população portuguesa, o que pode justificar, em parte, a falha de tratamento de canal, aparentemente realizados com sucesso e enfatiza a necessidade do médico dentista conhecer e avaliar de antemão a anatomia do dente a tratar.

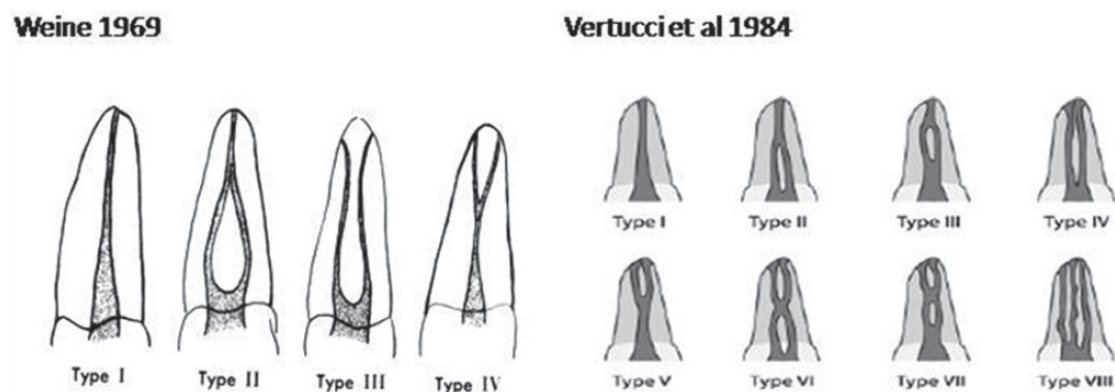


Figura 2 - Classificação de Weine e Vertucci dos sistemas de canais radiculares. Fonte: http://www.jcd.org.in/viewimage.asp?img=JConservDent_2013_16_2_99_108176_f9.jpg (acesso em 13.07.2016)

III. Diagnóstico endodôntico

O diagnóstico da patologia endodôntica representa um dos maiores desafios aos especialistas. Durante vários anos, o diagnóstico endodôntico teve por base a análise histopatológica de amostras de tecido que se sobrepunham à avaliação clínica. Devido à ausência de uma terminologia médica estandardizada e à dificuldade em estabelecer uma ponte entre a histopatologia e a clínica, a precisão do diagnóstico sempre foi um ponto crítico na endodontia (Seltzer et al., 1963).

Ao longo dos anos, vários esforços foram feitos com vista à estandardização da terminologia endodôntica. Em 2008, a Associação Americana de Endodontistas (AAE, *American Association of Endodontists*) e o Quadro Americano de Endodontistas organizaram uma conferência onde foram propostas recomendações universais no contexto do diagnóstico endodôntico (Glickman, 2009). Dessa convenção, resultaram uma série de *guidelines* com vista à homogeneização da terminologia médica e aplicação de protocolo de diagnóstico estandardizado (tabela 1).

Cada diagnóstico deve ser definido de acordo com um quadro clínico e radiográfico específico, tendo em conta que o clínico deve reconhecer que doenças da polpa e tecidos periapicais são dinâmicas e progressivas e, como tal, as manifestações clínicas podem variar dependendo do estadio em que se encontra a doença. O diagnóstico deve ser sempre composto pela avaliação pulpar e periapical de cada dente (Endodontics, 2013).

O clínico deve reunir sistematicamente toda a informação para estabelecer um diagnóstico mais provável (tabela 1). O diagnóstico clínico assenta na correlação da informação relativa ao quadro inflamatório da polpa dentária descrito pelo paciente através dos sintomas clínicos (p.ex dor e sensibilidade ao estímulo pelo calor/frio) que, em conjunto com os exames complementares de diagnóstico (radiografias), fundamentam a decisão terapêutica (Abbott and Yu, 2007).

Tabela 1 - *Guidelines* recomendadas para o diagnóstico endodôntico (Endodontics, 2013, Lemos, 2013)

		Doenças e tratamentos anteriores; consumo de medicamentos/drogas
Anamnese		Presença, duração e localização da dor, resposta a estímulos
Exame clínico		Assimetria facial; estado do trato sinusoide, tecidos moles e periodonto; presença de cáries e restauros
Testes clínicos	Pulpar	Resposta ao estímulo térmico frio/quente e elétrico
	Periapical	Percussão, palpação e teste da mordida
Análise radiográfica		Radiografias periapicais, radiografia com mordida, tomografia computadorizada de feixe cônico
Testes adicionais		Transiluminação, teste da anestesia seletiva, teste da cavidade

IV. Tratamento endodôntico não-cirúrgico

O objetivo final de um tratamento endodôntico não-cirúrgico, comumente denominado “desvitalização”, é eliminar os tecidos afetados e os agentes patogênicos preservando a estrutura do dente, manter a vitalidade dos tecidos circundantes e impedir a reincidência da infecção.

O tratamento da patologia endodôntica obedece a 4 grandes passos que ocorrem de forma sequencial: curetagem, pulpotomia/pulpectomia, obturação e restauração (figura 3). A curetagem consiste na avaliação e remoção superficial da polpa coronária, imediatamente junto à coroa, que foi exposta ao ambiente externo devido a uma cárie dentária, fratura ou tratamento conservador anterior. Após avaliação do estado vital da

polpa dentária e da extensão da infecção, o clínico deve decidir entre uma pulpotomia ou uma pulpectomia. A pulpotomia consiste na remoção de parte da polpa dentária da coroa, preservando a polpa nos canais radiculares não afetada. A pulpectomia, por sua vez, refere-se ao tratamento de endodôntico que envolve a extirpação total da polpa dentária que corresponde a todo o tecido vital do dente. Após a limpeza dos canais radiculares, o dente torna-se uma estrutura tubular oca, altamente suscetível a fraturas e reinfeções. Assim, os canais são preenchidos e selados hermeticamente com guta-percha (derivado de resina vegetal). A selagem tridimensional do dente denomina-se obturação e precede a restauração. A restauração, por sua vez, consiste na reconstrução de uma coroa artificial que garante a conservação da função mastigatória e estética ao paciente (Endodontists, 2014).

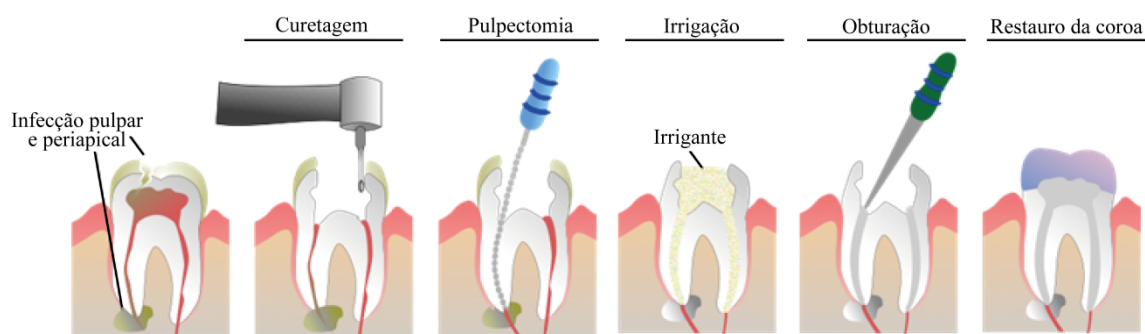


Figura 3 - Ilustração do processo sequencial do tratamento de canal.

Sob o ponto de vista da instrumentação, o processo de limpeza e desinfecção dos canais radiculares é o passo mais limitante de todo o tratamento endodôntico devido à complexa arquitetura do sistema de canais radiculares (Harrison, 1984, Rahimi et al., 2014, Gopikrishna et al., 2014). Por este motivo, a indústria de materiais endodônticos tem evoluído intensamente nas últimas décadas, facultando aos profissionais um sucesso crescente no tratamento endodôntico não-cirúrgico.

Smear layer

Para além dos microorganismos que podem colonizar toda a área dos canais radiculares e túbulos da dentina (Ando and Hoshino, 1990, Armitage et al., 1983, Sen et al., 1995, Torabinejad et al., 2002), é produzida, durante a instrumentação, uma camada de material orgânico e inorgânico, composta por fragmentos dos processos odontoblásticos, microorganismos e material necrótico, designada por *smear layer* (McComb and Smith, 1975, Moodnik et al., 1976, Mader et al., 1984, Cengiz et al., 1990, Pashley, 1992).

A *smear layer* foi descrita pela primeira vez em 1970 por Eick et al., usando um microscópio electrónico de varrimento (Eick et al., 1970). Esta camada distribui-se pela superfície da parede dos canais com cerca de 1-2 μm de espessura e 20 a 40 μm de profundidade (Mader et al., 1984).

Apesar de alguma controvérsia, é maioritariamente aceite que a *smear layer* deve ser removida durante o tratamento de canal e as razões que suportam esta opção são (Khaord et al., 2015, Violich and Chandler, 2010):

A *smear layer* tem uma espessura e volume imprevisíveis porque grande parte da sua massa é composta por água (Cergneux et al., 1987).

Contém bactérias, os seus bio-produtos e tecido necrótico. As bactérias podem sobreviver e multiplicar-se dentro dos canais (Chow, 1983).

Pode actuar como substrato para o crescimento de bactérias, permitindo a invasão dos tecidos em maior profundidade (George et al., 2005).

Pode limitar o nível de penetração dos irrigantes (Gu et al., 2009). As bactérias podem localizar-se em regiões profundas e a *smear layer* pode bloquear o efeito dos desinfetantes sobre elas (Weller et al., 1980).

Pode actuar como barreira entre o material de preenchimento e a parede do canal e, conseqüentemente, comprometer a obturação(Yamaguchi et al., 1988).

A *smear layer* consiste numa camada fracamente aderente e pouco compacta, sendo uma potencial fonte para microleakage e contaminação bacteriana entre o material obturador e a parede do canal. A sua remoção permite um preenchimento mais seguro e eficiente (Wu et al., 2003).

Desenvolvimento

I. Materiais e Métodos

A pesquisa bibliográfica deste trabalho foi realizada na biblioteca da Universidade Fernando Pessoa e nos motores de busca como Science Direct, Scielo, B-on e Pubmed entre Abril e Junho de 2016, utilizando como palavras-chave “endodontics irrigation”, “endodontic pathology”, “endodontic treatment”, “sodium hypochlorite”, “EDTA”, “chlorhexidine”, “MTAD”, “citric acid”, “Hypoclean”, QMiX”.

Os artigos científicos utilizados neste trabalho encontram-se publicados em revistas científicas idóneas e datam desde 1915 e 2016.

II. Irrigantes endodônticos

A limpeza da parede da dentina após instrumentação é um passo essencial no tratamento endodôntico. Os microrganismos, tecido ósseo e detritos celulares presentes no sistema radicular são eliminados através da limpeza do sistema com soluções irrigantes (Haapasalo et al., 2014, Kandaswamy and Venkateshbabu, 2010).

Historicamente, vários compostos em solução aquosa foram aplicados na limpeza do canal, desde inertes soluções salinas de cloreto de sódio (NaCl), a soluções altamente tóxicas e alergênicas, tais como bioácidos e formaldeído (agente carcinogênico) (Harrison, 1984). No contexto deste trabalho, apenas serão abordados em profundidade, os irrigantes correntemente utilizados na prática clínica, bem como uma breve referência ao *state of the art* no âmbito da irrigação endodôntica.

Atualmente existem várias soluções irrigantes, mas todas têm em comum o objetivo de remover os detritos orgânicos e inorgânicos a fim de deixar os canais totalmente limpos e preparados para a obturação (Haapasalo et al., 2014). Embora não exista atualmente um irrigante perfeito, o ideal deveria possuir o seguinte conjunto de propriedades (Haapasalo et al., 2014, Rahimi et al., 2014, Cohen, 2011, Kandaswamy and Venkateshbabu, 2010):

- Largo espectro de ação microbiana – microrganismos aeróbios e anaeróbios facultativos presentes no biofilme

- Dissolução de tecido necrótico e detritos reminescente da pulpectomia

- Inativação de bio-produtos e endotoxinas

- Prevenção da formação da *smear layer* durante a instrumentação ou proceder à dissolução desta

- Ser não-tóxico, não-cáustico para o tecido periodontal e com baixo risco de reação anafilática.

Hipoclorito de sódio

O NaOCl em solução aquosa foi, pela primeira vez, utilizado em França, por Berthollet, entre 1748 e 1922. No século XVIII, esta solução passou a ser industrializada pela Percy em Javel, perto de Paris, sendo a primeira denominação da solução “Eau de Javel”. A solução de NaOCl foi, inicialmente, usada como agente branqueador, mas rapidamente recomendada por Labarraque para prevenção de doenças infecciosas (Vineet, et al., 2014).

No século XIX, os estudos de Koch e Pasteur sustentaram a eficácia desta solução enquanto desinfetante e, na Primeira Guerra Mundial, o químico Henry Drysdale e o cirurgião Alexis Dakin demonstraram a eficácia do NaOCl no tratamento de tecidos necróticos infectados (cit in Vineet, et al., 2014). Para além de um largo espectro de ação, esta solução apresenta um potente efeito dissolvente de material orgânico, com especial eficácia nos tecidos necróticos (Dakin, 1915a, Dakin, 1915b).

Em 1922, Alfred Walker empregou o NaOCl como solução de desinfecção em endodontia, obtendo considerável melhoria no sucesso do tratamento endodôntico. Observou também que o NaOCl atuava como solvente orgânico e germicida (Walker, 1926). Desde então, o NaOCl é o irrigante mais comum na prática clínica (Zehnder, 2006).

Em solução aquosa, o NaOCl dissocia-se nos seus iões, os quais reagem com os tecidos (Estrela et al., 1999). Entre os ácidos gordos e o NaOCl ocorre uma reacção de saponificação, cujos produtos são sabão e glicerol (Estrela et al., 2002). Por outro lado, o NaOCl neutraliza os aminoácidos formando água e um sal. Com a produção de iões hidroxilo, forma-se ácido hipocloroso, o qual, em contacto com tecidos orgânicos, actua como solvente e liberta o cloreto que se combina com os grupos amina, formando

cloraminas, as quais interferem com o metabolismo celular (figura 4). Os íons cloreto são fortemente oxidantes e responsáveis pela inibição da actividade enzimática bacteriana através da oxidação dos grupos sulfidril (Estrela et al., 2002).

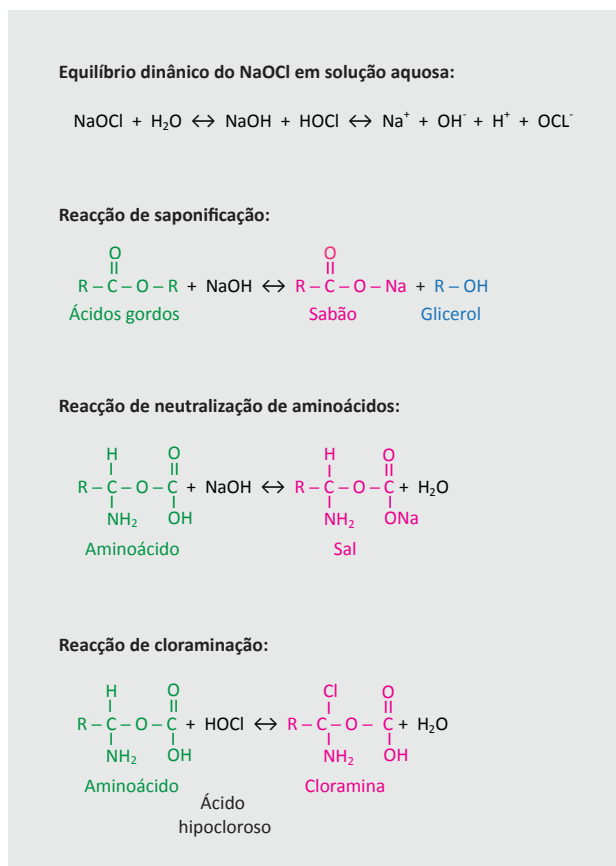


Figura 4 - Reacções químicas entre a polpa e o NaOCl. A) Saponização. B) Neutralização. C) Cloraminação.

A eficácia do NaOCl é dependente da sua concentração, temperatura, pH e condições de armazenamento (Beus et al., 2012). Estudos demonstraram que a utilização de soluções aquecidas a 45-60°C e concentrações entre 5% e 6% aumentam consideravelmente a eficácia do irrigante na dissolução de tecidos orgânicos (Zehnder, 2006). Um estudo demonstrou que o aumento da temperatura do NaOCl até aos 25°C aumenta a eficiência num factor de 100 e a capacidade de dissolução do tecido pulpar de 1% de NaOCl a 45°C é equivalente ao observado com 5,25% de NaOCl a 20°C (Paragliola et al., 2010). Outros estudos demonstraram que a utilização de soluções mais

ácidas de NaOCl aumentam a eficiência desta solução enquanto bactericida e solvente de tecidos orgânicos. A dissociação química do HOCl depende da quantidade de iões H^+ em solução, sendo o HOCl consumido nas reacções de oxidação germicida (Bloomfield SF, 1979, Baker, 1959).

Apesar de todas as suas vantagens, o NaOCl é citotóxico e, em casos de derrame acidental nos tecidos periapicais, pode causar lesões reversíveis e dolorosas ao paciente (Abbott and Yu, 2007, Bosch-Aranda et al., 2012, Bajrami et al., 2014).

O NaOCl tem uma capacidade única de dissolver tecido necrótico (Koskinen et al., 1980, Naenni et al., 2004). Elimina patogénios presentes no biofilme e túbulos da dentina tão eficientemente quanto o digluconato de clorhexidina (CHX – chlorhexidine) a concentrações comparáveis (Spratt et al., 2001, Abbott and Yu, 2007). Foi também demonstrado que o NaOCl tem uma boa eficácia relativa na inativação de endotoxinas (Tanomaru et al., 2003).

Dado que cobre maior número de requisitos do que qualquer irrigante endodôntico individual, o NaOCl é, até aos dias de hoje, a solução que mais se aproxima do irrigante ideal.

Ativação ultrassónica do NaOCl

A utilização de ultrassons entre 25 e 40 kHz na preparação do canal radicular veio melhorar significativamente a desinfeção endodôntica com NaOCl. Os ultrassons produzem cavitação e transmissão acústica. A cavitação é mínima e limitada à ponta do instrumento, enquanto que a transmissão acústica tem um impacto mais significativo. (Plotino et al., 2007).

Os ultrassons geram bolhas de pressão positiva e negativa que, ao colapsarem dentro do canal radicular, implode e geram descompressão por vácuo. Explosões e

implosões fazem gerar energia que atua como um detergente (Plotino et al., 2007, Plotino et al., 2016).

Foi demonstrado que a ativação do NaOCl por ultrassons aumenta drasticamente a eficiência da higienização do canal. Adicionalmente, aumenta consideravelmente o fluxo de irrigante, o que melhora, tanto a capacidade de solvente, como de germicida (Plotino et al., 2007, Plotino et al., 2016).

A ativação ultrassônica do NaOCl efetuada entre 30 segundos a 1 minuto por canal em ciclos de 10 a 20 segundos (com renovação constante do irrigante), foi demonstrada suficiente na limpeza do canal. No entanto, o impacto dos ultrassons na limpeza com EDTA não é tão satisfatório (Plotino et al., 2007, Cameron, 1995).

Outra vantagem desta técnica é a prevenção da acumulação de detritos em áreas inacessíveis durante a instrumentação (Paque et al., 2011). O procedimento envolve a aplicação do irrigantes no canal e este é ativado pela ação de uma agulha ultrassônica em simultâneo (Jiang et al., 2012).

Irrigantes quelantes

Embora o NaOCl seja o irrigante com mais vantagens na aplicação de um irrigante único durante a instrumentação, apresenta baixa capacidade de dissolução de material inorgânico e, portanto, apresenta uma ação limitada na formação da *smear layer* durante a instrumentação (Lester and Boyde, 1977, Zehnder, 2006).

Agentes desmineralizantes, tais como o ácido etilenodiamino tetra- acético (EDTA - Ethylene-diamine-tetra-acetic Acid) (figura 5) e o ácido cítrico (10%) são recomendados como soluções adjuvantes à irrigação com NaOCl (Loel, 1975, Kandaswamy and Venkateshbabu, 2010). No entanto, o EDTA individualmente não apresenta atividade antimicrobiana contra *E. faecalis* (Torabinejad et al., 2003a), pelo

que não devem ser usados diluídos em conjunto, mas sim separadamente e de forma sequencial (Bystrom and Sundqvist, 1985).

Foi descrito que o EDTA reage com os íons de cálcio presentes na dentina formando complexo quelantes de cálcio insolúveis, promovendo a descalcificação de 20-30 μm de dentina em 5 minutos (Kandaswamy and Venkateshbabu, 2010). Outro estudo demonstrou que a irrigação contínua com 5 mL de EDTA a 17% como irrigante final, durante 3 minutos, remove eficientemente a *smear layer* (Mello et al., 2010)

Tanto o EDTA 17%, como o ácido cítrico a 10% são eficazes na remoção da *smear layer*, embora o ácido cítrico, em concentrações comparáveis, seja mais eficaz (Zehnder et al., 2005). De forma a usufruir das propriedades quelantes do EDTA e do ácido cítrico, antissépticos, tais como compostos quaternários de amônio (EDTAC) ou mistura de tetraciclina, ácido e detergente (MTAD), têm sido adicionados às soluções de EDTA e ácido cítrico, respetivamente, de forma a aumentar a capacidade antimicrobiana (Zehnder et al., 2005, Torabinejad et al., 2003a). No entanto, subsistem ressalvas no que respeita ao carácter cáustico do EDTAC e às resistências a antibióticos como tetraciclina (Torabinejad et al., 2003a, Dahlen et al., 2000).



Figura 5 - Solução comercial de EDTA a 17% e agulhas de irrigação. Fonte: <http://vista-dental.com/edta-17-solution/>

Digluconato de clorexidina (CHX)

A clorexidina como irrigante endodôntico foi desenvolvida na década de 1940 nos laboratórios *Imperial Chemical Industries Ltd.* (Macclesfield, Inglaterra). A clorexidina é uma bisbiguanida catiónica com atividade antisséptica de extrema relevância no sistema de saúde, seja enquanto componente farmacológico, como agente desinfetante.

As polibisguanidas foram inicialmente geradas para o combate às infecções víricas, no entanto a sua eficácia antivírica mostrou-se reduzida e rapidamente foram descartadas. Alguns anos mais tarde, foi descrito que estes compostos apresentavam elevado potencial antibacteriano (Davies et al., 1954).

A pH fisiológico, os sais de clorexidina dissociam-se libertando o catião clorexidina sendo o seu efeito antibacteriano resultante da ligação deste catião a moléculas de carga negativa localizadas na parede celular das bactérias. A baixas concentrações, este agente atua como bacteriostático, enquanto que a altas causa danos nas membranas celulares que levam à morte das células expostas a este composto (Leikin, 2008).

A clorexidina é vastamente utilizada na higienização da cavidade oral e prevenção da placa dentária (Addy and Moran, 1997). Para este efeito, recomendam-se a utilização de soluções aquosas de 0,1 a 0,2% em contraste com os 2% utilizados para irrigação endodôntica (Zamany et al., 2003).

A clorexidina, pela sua natureza química, é considerada uma solução menos cáustica do que o NaOCl (Jeansonne and White, 1994) contudo outros estudos reportaram que nem sempre é o caso, uma vez que a clorexidina pode ser irritante para a pele (Abbott and Yu, 2007).

Porém, tal como acontece com o NaOCl, o aquecimento de soluções de clorexidina a concentrações mais baixas pode aumentar a eficácia local na irrigação de canal mantendo a sua toxicidade baixa (Hennessey, 1973).

Não obstante da sua utilidade como irrigante, a clorexidina não é aplicada como irrigante principal e único na maioria dos casos endodônticos, uma vez que não é capaz de remover o tecido necrótico (Naenni et al., 2004) e a sua eficácia é relativamente reduzida no combate às bactérias Gram-negativas, as quais predominam nas infeções endodônticas primárias (Zehnder, 2006).

Irrigantes combinados

Nos últimos anos, vários estudos têm comparado a eficácia de diferentes irrigantes. Embora o NaOCl seja o irrigante com maior eficácia individual na ação germicida, não é capaz de dissolver a matéria inorgânica que compõem a *smear layer* (Lester and Boyde, 1977, Zehnder, 2006).

Os agentes quelantes foram introduzidos na endodontia como agentes adjuvantes na preparação dos canais radiculares calcificados em 1957 por Nygaard-Østby (cit in (Hulsmann et al., 2003). O EDTA, por sua vez, enquanto agente quelante, é eficaz na dissolução da *smear layer*, mas possui baixa capacidade antimicrobiana (Hulsmann et al., 2003). A combinação de ambos tem sido sugerida por vários estudos de modo a suplementarem-se um ao outro (Grawehr et al., 2003).

A ação germicida dos irrigantes tem sido testada *in vitro* utilizando como modelo *E. faecalis* (Torabinejad et al., 2003b), a estirpe bacteriana predominante na periodontite apical persistente e a mais frequentemente detetada em casos de infeções endodônticas primárias (Rocas et al., 2004a, Rocas et al., 2004b, Abbott and Yu, 2007, Molander et al., 1998, Hancock et al., 2001). Na década de setenta, foi demonstrado que o NaOCl era eficaz na irradicação de *E. faecalis* e *Staphylococcus aureus*, *in vitro*. Porém, o mesmo estudo foi incluir um modelo *ex vivo* utilizando como modelo de estudo dentes infetados, demonstrou que o NaOCl não é eficaz na irradicação total destas bactérias (Shih et al., 1970). Estudos mais recentes demonstraram que a diminuição da eficácia do NaOCl nos estudos *ex vivo* podia dever-se à baixa capacidade de penetração dos

canalículos da dentina, devido à sua elevada tensão de superfície (48,90 MJ/m² a 5,25%) (Giardino et al., 2006, Bolfoni et al., 2014).

De forma a contornar esta limitação, ao longo dos últimos anos têm sido propostas novas formulações de irrigantes. A adição de substâncias surfactantes como cetrimida e o polipropilenoglicol e o uso de irrigantes com base em antibióticos estão hoje na vanguarda da indústria de irrigantes endodônticos. Entre vários, o Hypoclean®, o MTAD e o Tetraclean® são os mais comuns substitutos do NaOCl (Torabinejad et al., 2003a, Pappen et al., 2010).

O Hypoclean® (Ogna Laboratori Farmaceutici, Milão, Italia) (figura 6A) consiste num derivado do NaOCl ao qual é adicionado um surfactante que lhe confere menor tensão de superfície, permitindo-lhe ter um poder de penetração superior no sistema de canais radiculares (Palazzi et al., 2012).

Os surfactantes são moléculas com carácter hidrofóbico e hidrofílico simultaneamente que lhes conferem solubilidade tanto em soluções orgânicas como em soluções inorgânicas. O Hypoclean® é composto por 5.25% NaOCl e dois surfactantes, cetrimide e polipropilenoglicol. A cetrimida é um surfactante catiónico, enquanto que o polipropilenoglicol é um polímero neutro. A presença destes surfactantes no Hypoclean® confere-lhe uma tensão de superfície de (29.13 mJ m²) (Palazzi et al., 2012). Esta diferença na tensão de superfície confere vantagens a este irrigante na capacidade de penetração dos canais radiculares, quando comparado com o NaOCl individual à mesma concentração (Bolfoni et al., 2014).

Apesar das suas vantagens, alguns autores advogam que os 5,25% de NaOCl existentes na formulação do Hypoclean® é demasiado alta uma vez que concentrações superiores a 1% têm sido associadas a efeitos citotóxicos e inflamatórias em caso de derrame para os tecidos periapicais (Pashley et al., 1985, Navarro-Escobar et al., 2010).

Tendo como base a composição combinada de antibióticos, ácidos e detergentes, foram gerados dois grandes irrigantes, o MTAD (figura 6B) e o Tetraclean®. O primeiro, descrito em 2003 por Torabinejad et al., que consiste numa mistura aquosa de

doxiciclina, um ácido (cítrico) e um detergente (Tween-80). O MTAD foi mais tarde lançado para o mercado pela BioPure (Dentsply Tulsa Dental, Johnson City, TN) (Torabinejad et al., 2003b).

Em 2004, o Tetraclean®, (Ogna Laboratori Farmaceutici, Milão, Italia) foi apresentado por Giardino et al., no XXV Congresso da Sociedade Italiana de Endodontistas e consiste numa mistura de doxiciclina, ácido cítrico e polipropilenoglicol (surfactante) (Giardino et al., 2006, Giardino et al., 2007).

Ambos têm a capacidade de penetrar a estrutura canalicular devido à redução da tensão de superfície. Adicionalmente, estes irrigantes têm a propriedade de serem absorvidos pela dentina e gradualmente libertados, o que lhes confere uma ação prolongada (Neglia et al., 2008).

Quando comparados com o NaOCl, o MTAD e o Tetraclean® apresentam ação antimicrobiana semelhante e imediatamente após irrigação. No entanto, a vantagem dos irrigantes combinados em relação ao NaOCl é visível algumas horas após o tratamento. Foi demonstrado que, 48 a 72 horas após irrigação com NaOCl, pode observar-se recuperação do crescimento de bactérias, o que não se observou nos tratamentos com Tetraclean® ou MTAD (Neglia et al., 2008, Ardizzoni et al., 2009).

A eficiência destes irrigantes na prevenção da recidiva da infeção é associada a três grandes princípios. Primeiro, à capacidade de remoção da smear layer pelo ácido cítrico. Em segundo, à baixa tensão de superfície destes agentes, que lhes permite penetrar nos túbulos da dentina e efetuar uma desinfecção mais profunda. Em terceiro, o efeito bactericida gradual e prolongado devido à sua capacidade de se ligar à dentina e à libertação lenta de moléculas ativas (Stabholz et al., 1993).

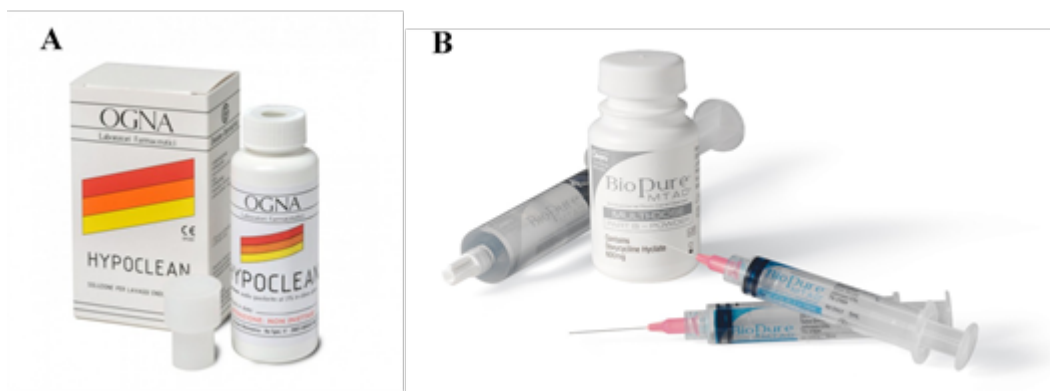


Figura 6 - (A) Hypoclean® (Ogna). Solução de lavagem. Fonte: <http://new.ognalaboratori.it/product/hypoclean/>. (B) MTAD (biopure). Irrigante antibacteriano. Fonte: <http://www.biopuremtad.com/>

Mais recentemente, em 2011, foi introduzido um novo irrigante designado QMiX® (Dentsply Tulsa dental speciality, Jhonson City, TN). O QMiX® é composto por uma mistura de EDTA, CHX e um detergente. A incorporação de um detergente na formulação do QMiX® baixa a tensão de superfície do irrigante e aumenta a sua capacidade de penetração nos canais radiculares. Adicionalmente, apresenta um efeito semelhante ao EDTA na remoção da *smear layer* (Stojicic et al., 2012, Dai et al., 2011).

O QMiX® deve ser utilizado apenas na lavagem final. Devido à presença de EDTA na composição deste irrigante, o QMiX® não deve ser utilizado imediatamente após lavagem com NaOCl. Deve proceder-se a uma lavagem intercalar com solução salina a fim de prevenir a formação de precipitados que foram descritos quando se misturam ambos os solventes (Stojicic et al., 2012).

III. Sistemas de ativação de irrigantes

As soluções irrigantes, por si só, não são capazes de reduzir significativamente a infecção do canal sem auxílio mecânico (Garcez et al., 2007). Várias técnicas de ativação e sistemas de agitação têm sido desenvolvidas e vários estudos demonstraram uma contribuição efetiva para o sucesso do tratamento endodôntico (Gu et al., 2009, Paragliola et al., 2010).

Técnicas de agitação manual

A agitação manual é a técnica mais simples de ativação de irrigantes. A agitação pode ser promovida através de movimentos verticais das limas dentárias dentro dos canais. A lima promove a penetração mais profunda do irrigante e reduz a presença de bolhas no espaço canalicular (Bronnec et al., 2010, Abbott and Yu, 2007).

A ativação manual pode recorrer a cones guta-percha que são introduzidos ao longo de todo o comprimento dos canais, enquanto estes são preenchido com irrigante. A utilização de escovas e agulhas específicas para irrigação endodôntica contribuem consideravelmente para uma lavagem mais eficiente. Estes sistemas têm-se mostrado válidos na remoção da smear layer do canal radicular (Zmener et al., 2009, Goel and Tewari, 2009) e são especialmente aconselhadas na irrigação com EDTA.

Sistemas de agitação mecânica assistida

A evolução dos sistemas de ativação manual levaram à introdução de instrumentos com rotação controlável a baixa velocidade. Estes instrumentos de rotação podem ser limas ou escovas de plástico (Klyn et al., 2010, Al-Ali et al., 2012, Garip et al., 2010, Rodig et al., 2010).

O conceito de irrigação e instrumentação simultâneas tem sido sugerido no passado no contexto da preparação. Com o auxílio de instrumentos de superfície abrasiva, aumentam o canal por fricção e o movimento produzido pelo instrumento favorece o fluxo de irrigante em maior profundidade. Este sistema tem mostrado excelentes resultados especialmente no que respeita à preservação anatômica do canal e à eficiência na lavagem. Através deste método, foi demonstrado que é possível alcançar regiões anatômicas de difícil acesso, tais como istmos, canais ovais e em forma de “C” (Paque et al., 2012).

Ativação sónica

A ativação sónica faz uso de instrumentos eletrónicos de regulação manual que produzem vibração de baixa frequência (na ordem dos 1-6 kHz) (Ahmad et al., 1987, Pitt, 2005). A maioria dos sistemas utiliza escovas de plástico macias ativadas por frequência sónica. Este sistema tem-se mostrado eficiente na remoção da smear layer e penetração de um elevado número de canais laterais (Paragliola et al., 2010, Kanter et al., 2011).

Mais recentemente, foi introduzida uma técnica que utiliza uma seringa com vibração sónica que permite a libertação e ativação simultâneas do irrigante no canal radicular. É de salientar que ativações sónica e ultrassónica são distintas, utiliza frequências de vibração distintas, sendo que a primeira utiliza frequências mais baixas (1-6 kHz) e a segunda mais alta (20-40kHz). Frequências de vibração mais elevadas são mais eficazes na remoção de detritos (Ahmad et al., 1987, Uroz-Torres et al., 2010, Sabins et al., 2003, Johnson et al., 2012).

Irrigação por pressão apical negativa (sistema Endovac)

As técnicas de irrigação convencionais são eficientes na lavagem dos terços cervicais e medial do dente. No entanto, a sua eficiência é limitada no terço apical, devido a diâmetros muito reduzidos que impedem o fluxo hidrodinâmico do irrigante até à extremidade apical (Albrecht et al., 2004, Siqueira et al., 1997)

As técnicas convencionais promovem a irrigação através de pressão positiva sobre os canais radiculares. No entanto, quando o diâmetro do canal é muito reduzido, a tensão de superfície impossibilita que o irrigante atinja as regiões mais distais do terço apical (Giardino et al., 2006). Por outro lado, a aplicação de pressão positiva excessiva pode causar extravasamento de irrigante para o espaço periapical e produzir reações inflamatórias dolorosas nos pacientes (Pashley et al., 1985).

O sistema EndoVac (Discus Dental, Culver City, Califórnia) é um método mais atual de irrigação que aplica a pressão apical negativa e envolve um conjunto de três principais instrumentos: uma Master Delivery Tip (MDT), uma macrocânula e uma microcânula (figura 8). A MDT liberta o irrigante na câmara pulpar, enquanto que as macro e microcânulas, ligadas a seringas, promovem a sucção do irrigante no segmento medial e apical, respetivamente (Nielsen and Craig Baumgartner, 2007).

Desta forma, estabelece-se, dentro da mesma unidade dentária, um fluxo contínuo de renovação de irrigante ao longo de todo o comprimento do canal e com baixo risco de extrusão (Schoeffel, 2007, Pasricha et al., 2015, Desai and Himel, 2009). Vários estudos têm referenciado esta técnica altamente efetiva na inclusão de elevado volume de irrigante no terço apical (de Gregorio et al., 2012) e excelente na remoção de detritos em pontos inacessíveis (Nielsen and Craig Baumgartner, 2007, Susin et al., 2010).

Outros estudos demonstraram que a agitação por pressão apical negativa e ativação ultrassónica são duas técnicas de eficácia comparável, tanto na remoção bacteriana, como na remoção da *smear layer* (Saber Sel and Hashem, 2011, Townsend and Maki, 2009, Goode et al., 2013).

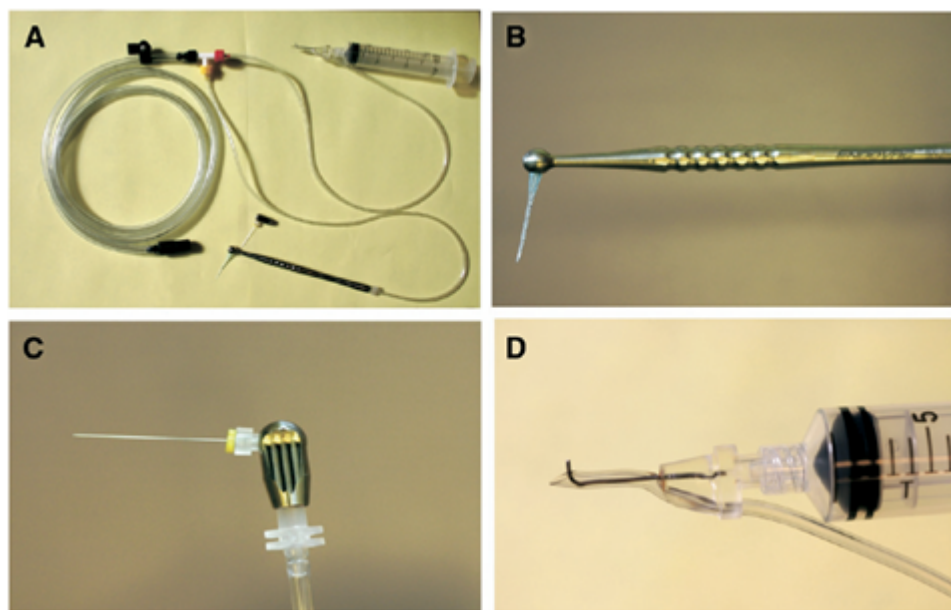


Figura 7 - (A) Sistema Endovac completo, incluindo a tubagem e sistema de vácuo. (B) Macrocânula associada ao instrumento de manuseio para libertação do irrigante na porção coronal do canal. (C) A microcânula associada a uns instrumentos de manuseio substitui a macrocânula na irrigação da porção apical. (D) Sistema de libertação e /sucção associados a uma seringa. O irrigante é libertado na câmara pulpar pela agulha de metal. Qualquer excesso é imediatamente sugado através do tubo de plástico que envolve a agulha e que está associado à tubagem de sucção. Adaptado de (Nielsen and Craig Baumgartner, 2007)

Ativação por laser

Em endodontia, vários tipos de lasers são usados com o objetivo de melhorar a desinfecção. As tecnologias LAI (Laser Activated Irrigation) e PIPS (Photon-Initiated Photoacoustic Streaming) são as mais exploradas no campo da endodontia e têm como princípio a absorção do laser pelo NaOCl. Da absorção resulta a vaporização do irrigante e formação de bolhas de vapor que se expandem e implodem, produzindo efeitos de cavitação secundários (De Moor et al., 2009).

A ação bactericida do laser depende do seu comprimento de onda e energia e, em vários casos, deve-se ao efeito térmico que induz alterações na parede celular das bactérias, levando ao choque osmótico e morte.

A tecnologia PIPS utiliza o laser Erbrium:YAG para criar ondas de choque no irrigante que se encontra nos canais. Quando ativado, a elevada absorção do laser no NaOCl, combinada com o elevado pico de energia derivado de pulsos de curta duração (50 μ s) determina o fenómeno fotomecânico (De Moor et al., 2009).

Atualmente, existe um grande debate quanto à eficácia deste método de ativação. Se, por um lado, estudos demonstraram que este método não traz vantagens comparativamente à irrigação convencional com NaOCl (Pedulla et al., 2012, Peters et al., 2011), outros demonstram-no satisfatório na remoção de culturas bacterianas no terço apical do dente infetado (Arslan et al., 2014).

Em conclusão, ainda não existem fortes evidências que suportem a aplicação de lasers de elevada potência na desinfeção direta de canais radiculares (Leonardo et al., 2005)

Discussão

Ao longo dos anos o tratamento endodôntico tem sido alvo de grande evolução técnica tendo substituído uma fração significativa dos casos de extração dentária. O tratamento endodôntico visa tratar o dente infetado garantindo a manutenção da estrutura do dente e a sua função mastigatória.

Virtualmente todos os casos de patologia endodôntica têm origem na invasão da polpa dentária por microrganismos patogênicos. Assim, do ponto de vista biológico, a terapia endodôntica deve dirigir-se diretamente à eliminação dos microrganismos. Porém, devido à complexa estrutura anatômica dos canais radiculares, o tratamento endodôntico constitui um desafio técnico e instrumental na prática clínica.

Em grande parte dos casos, o clínico opta pela pulpectomia, correntemente designada “desvitalização” na qual todo o tecido vital é extirpado do canal radicular e substituído obturado com uma resina. Para que não ocorram recidivas da infecção num dente que já se encontra desvitalizado, é necessário garantir que todos os microrganismos são removidos após instrumentação.

Os irrigantes são as soluções aplicadas na fase de desinfecção e que têm como função eliminar as colónias de microrganismos presentes nos canais, dissolver o material orgânico e inorgânico resultante dos debrís e instrumentação. No entanto, cerca de 20% dos casos de pulpectomias recidivam e a principal causa reside na remoção incompleta de todas as colónias de bactérias durante a irrigação dos canais.

Ao longo dos anos, vários irrigantes têm sido aplicados na prática clínica e uma vasta quantidade de estudos tem sido efetuada com o objetivo de alcançar o irrigante ideal. Historicamente, o NaOCl é o irrigante mais vastamente utilizado e estudado ao longo de sete décadas.

Até aos dias de hoje não existe nenhum irrigante que, atuando individualmente, possua um poder germicida superior ao do NaOCl. Para além disso, o baixo custo destas

soluções constitui uma clara vantagem. Pela conjugação do seu conjunto de benefícios, o NaOCl continua a ser o irrigante de eleição de uma vasta quantidade de clínicos. No entanto, o NaOCl apresenta limitações, entre as quais o baixo poder de penetração nos canais radiculares, ineficiência na remoção da *smear layer* e é bastante corrosivo, causando danos reversíveis no paciente em casos de derrame acidental na região periapical.

Perante as limitações do NaOCl, vários irrigantes têm sido alvo de estudo comparativo com o NaOCl, entre eles os agentes quelantes, tais como o EDTA, a clorexidina, combinação sequencial de irrigantes e irrigantes compostos, tais como o MTAD, o Hypoclean® e o Tetraclean®. Atualmente, o MTAD e o Tetraclean® são os irrigantes que respondem a mais critérios. Ambos possuem elevada capacidade germicida, são eficazes na remoção da *smear layer* e na penetração nos canais radiculares, devido à baixa tensão de superfície.

Técnicas de ativação de irrigantes têm sido desenvolvidas em paralelo, tais como a ativação sónica/ultrassónica, a ativação de pressão apical negativa, e a ativação por laser. Estas técnicas têm conferido vantagens ao tratamento endodôntico, especialmente devido ao aumento da capacidade de penetração no sistema de canais radiculares. Os irrigantes de elevada tensão de superfície como o NaOCl, não conseguem atingir pontos mais distais do sistema radicular e higienizá-lo eficazmente. No entanto, devido à recente introdução destas técnicas de ativação, a irrigação é mais profunda e eficaz. Contudo, a maioria dos estudos utiliza o NaOCl como irrigante, existindo ainda poucos estudos combinando estas técnicas com outros irrigantes.

No contexto experimental, tem havido evolução nos sistemas e modelos de estudo. Os estudos *in vitro*, embora demonstrem o poder germicida dos vários agentes através da inibição do crescimento de estirpes bacterianas, não mimetizam as características *in vivo*, onde existe um sistema de canais radiculares de estrutura complexa, cujo acesso é limitado e onde existem não uma, mas várias espécies microbianas. Estudos mais recentes têm-se focado em modelos *ex vivo* e, desta forma, aproximam-se com maior fidelidade dos casos clínicos.

Nos últimos anos, tem havido uma preocupação crescente no estudo do impacto dos irrigantes em modelos de biofilme. Devido às condições agressivas do meio canalicular, as bactérias podem agregar-se e formar biofilmes ou entrar numa fase estacionária, que lhes permite adquirir fenótipos resistentes. A biologia do biofilme tem sido um campo em expansão na investigação. Assim, é importante estudá-lo em infeções endodônticas e de que modo os irrigantes atuais são eficazes na sua irradicação.

Actualmente, a corrente científica foca-se na superação das principais limitações dos irrigantes endodônticos, nomeadamente na eliminação total e permanente dos microorganismos, na remoção eficaz da *smear layer* e na desinfecção eficiente do sistema de canais radiculares em toda a sua extensão. Para tal, o desenvolvimento de irrigantes combinados, o desenvolvimento de novos antibióticos de largo espectro, substâncias surfactantes e técnicas de activação deverão continuar na vanguarda da indústria de irrigantes endodônticos.

Bibliografia

Agrawal, V. S., Rajesh, M., Sonali, K., Mukesh, P. 2014. A Contemporary Overview of Endontic Irrigants – A Review. *J Dent App.* 1(6): 105-115.

Ammott, P. V. & Yu, C. 2007. A clinical classification of the status of the pulp and the root canal system. *Aust Dent J*, 52, S17-31.

Addy, M. & Moran, J. M. 1997. Clinical indications for the use of chemical adjuncts to plaque control: chlorhexidine formulations. *Periodontol 2000*, 15, 52-4.

Ajmad, M., Pitt Ford, T. R. & Crum, L. A. 1987. Ultrasonic debridement of root canals: an insight into the mechanisms involved. *J Endod*, 13, 93-101.

Al-Ali, M., Sathron, C. & Parashos, P. 2012. Root canal debridement efficacy of different final irrigation protocols. *Int Endod J*, 45, 898-906.

Albrecht, L. J., Baumgartner, J. C. & Marshall, J. G. 2004. Evaluation of apical debris removal using various sizes and tapers of ProFile GT files. *J Endod*, 30, 425-8.

Ando, N. & Hoshino, E. 1990. Predominant obligate anaerobes invading the deep layers of root canal dentin. *Int Endod J*, 23, 20-7.

Ardizzoni, A., Blasi, E., Rimoldi, C., Giardino, L., Ambu, E., Richi, E. & Neglia, R. 2009. An in vitro and ex vivo study on two antibiotic-based endodontic irrigants: a challenge to sodium hypochlorite. *New Microbiol*, 32, 57-66.

Armitahe, G. C., Ryder, M. I. & Wilcox, S. E. 1983. Cemental changes in teeth with heavily infected root canals. *J Endod*, 9, 127-30.

Arslan, H., Capar, I. D., Saygili, G., Gok, T. & Akcay, M. 2014. Effect of photon-initiated photoacoustic streaming on removal of apically placed dentinal debris. *Int Endod J*, 47, 1072-7.

Bajrami, D., Hoxha, V., Gorduysus, O., Muftuoglu, S., Zeybek, N. D. & Kucukkaya, S. 2014. Cytotoxic effect of endodontic irrigants in vitro. *Med Sci Monit Basic Res*, 20, 22-6.

Baker, R. J. 1959. Types and significance of chlorine residuals. . *J Am Water Works Assoc*, 51, 1185-90.

Beus, C., Safavi, K., Stratton, J. & Kaufman, B. 2012. Comparison of the effect of two endodontic irrigation protocols on the elimination of bacteria from root canal system: a prospective, randomized clinical trial. *J Endod*, 38, 1479-83.

Bloomfield SF, M. G. 1979. The relationship between residual chlorine and disinfection capacity of sodium hypochlorite and sodium dichlorisocyanurate solutions in the presence of E. coli and milk. . *Microbios*, 10, 33-43.

Bolfini, M. R., Ferla Mdos, S., Sposito Oda, S., Giardino, L., Jacinto Rde, C. & Pappen, F. G. 2014. Effect of a surfactant on the antimicrobial activity of sodium hypochlorite solutions. *Braz Dent J*, 25, 416-9.

Bosch-Aranda, M. L., Canalda-Sahli, C., Figueiredo, R. & Gay-Escoda, C. 2012. Complications following an accidental sodium hypochlorite extrusion: A report of two cases. *J Clin Exp Dent*, 4, e194-8.

Bronnec, F., Bouillguet, S. & Machtou, P. 2010. Ex vivo assessment of irrigant penetration and renewal during the final irrigation regimen. *Int Endod J*, 43, 663-72.

Bystrom, A. & Sundqvist, G. 1985. The antibacterial action of sodium hypochlorite and EDTA in 60 cases of endodontic therapy. *Int Endod J*, 18, 35-40.

Cameron, J. A. 1995. The choice of irrigant during hand instrumentation and ultrasonic irrigation of the root canal: a scanning electron microscope study. *Aust Dent J*, 40, 85-90.

Cengiz, T., Aktener, B. O. & Piskin, B. 1990. Effect of dentinal tubule orientation on the removal of smear layer by root canal irrigants. A scanning electron microscopic study. *Int Endod J*, 23, 163-71.

Cergneux, M., Ciucchi, B., Dietschi, J. M. & Holz, J. 1987. The influence of the smear layer on the sealing ability of canal obturation. *Int Endod J*, 20, 228-32.

Chow, T. W. 1983. Mechanical effectiveness of root canal irrigation. *J Endod*, 9, 475-9.

Cohen, S., & Hageaves, K.M. 2011. *Caminhos da Polpa*, Brasil.

Dahlen, G., Samuelsson, W., Molander, A. & REIT, C. 2000. Identification and antimicrobial susceptibility of enterococci isolated from the root canal. *Oral Microbiol Immunol*, 15, 309-12.

Dai, L., Khechen, K., Khan, S., Gillen, B., Loushine, B. A., Wimmer, C. E., Gutmann, J. L., Pashley, D. & Tay, F. R. 2011. The effect of QMix, an experimental antibacterial root canal irrigant, on removal of canal wall smear layer and debris. *J Endod*, 37, 80-4.

Dakin, H. D. 1915a. THE ANTISEPTIC ACTION OF HYPOCHLORITES: The Ancient History of the "New Antiseptic.". *Br Med J*, 2, 809-10.

Dakin, H. D. 1915b. On the Use of Certain Antiseptic Substances in the Treatment of Infected Wounds. *Br Med J*, 2, 318-20.

Davies, G. E., Francis, J., Martin, A. R., Rose, F. L. & Swain, G. 1954. 1:6-Di-4'-chlorophenyldiguanidohexane (hibitane); laboratory investigation of a new antibacterial agent of high potency. *Br J Pharmacol Chemother*, 9, 192-6.

De Gregorio, C., Paranjpe, A., Garcia, A., Navarrete, N., Estevez, R., Esplugues, E. O. & Cohenca, N. 2012. Efficacy of irrigation systems on penetration of sodium hypochlorite to working length and to simulated uninstrumented areas in oval shaped root canals. *Int Endod J*, 45, 475-81.

De Moor, R. J., Blanken, J., Meire, M. & Verdaasdonk, R. 2009. Laser induced explosive vapor and cavitation resulting in effective irrigation of the root canal. Part 2: evaluation of the efficacy. *Lasers Surg Med*, 41, 520-3.

Desai, P. & Himel, V. 2009. Comparative safety of various intracanal irrigation systems. *J Endod*, 35, 545-9.

Eick, J. D., Wilko, R. A., Anderson, C. H. & Sorensen, S. E. 1970. Scanning electron microscopy of cut tooth surfaces and identification of debris by use of the electron microprobe. *J Dent Res*, 49, Suppl:1359-68.

Endodontics, A. A. O. 2013. *Endodontic Diagnosis* [Online]. [Accessed April, 2016].

Endodontics, A. A. O. 2014. *The Standard of Practice in Contemporary Endodontics* [Online].

Estrela, C., Estrela, C. R., Barbin, E. L., Spano, J. C., Marchesan, M. A. & Pecora, J. D. 2002. Mechanism of action of sodium hypochlorite. *Braz Dent J*, 13, 113-7.

Estrela, C., Pimenta, F. C., Ito, I. Y. & Bammann, L. L. 1999. Antimicrobial evaluation of calcium hydroxide in infected dentinal tubules. *J Endod*, 25, 416-8.

Fabricius, L., Dahlen, G., Ohman, A. E. & Moller, A. J. 1982. Predominant indigenous oral bacteria isolated from infected root canals after varied times of closure. *Scand J Dent Res*, 90, 134-44.

Garcez, A. S., Nunez, S. C., Lage-Marques, J. L., Hamblin, M. R. & Ribeiro, M. S. 2007. Photonic real-time monitoring of bacterial reduction in root canals by genetically engineered bacteria after chemomechanical endodontic therapy. *Braz Dent J*, 18, 202-7.

Garip, Y., Sazak, H., Gunday, M. & Hatipoglu, S. 2010. Evaluation of smear layer removal after use of a canal brush: an SEM study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 110, e62-6.

George, S., Kishen, A. & Song, K. P. 2005. The role of environmental changes on monospecies biofilm formation on root canal wall by *Enterococcus faecalis*. *J Endod*, 31, 867-72.

Giardino, L., Ambu, E., Becce, C., Rimondini, L. & Morra, M. 2006. Surface tension comparison of four common root canal irrigants and two new irrigants containing antibiotic. *J Endod*, 32, 1091-3.

Giardino, L., Ambu, E., Savoldi, E., Rimondini, R., Cassanelli, C. & Debbia, E. A. 2007. Comparative evaluation of antimicrobial efficacy of sodium hypochlorite, MTAD, and Tetraclean against *Enterococcus faecalis* biofilm. *J Endod*, 33, 852-5.

Goel, S. & Tewari, S. 2009. Smear layer removal with passive ultrasonic irrigation and the NaviTip FX: a scanning electron microscopic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 108, 465-70.

Goode, N., Khan, S., Eid, A. A., Niu, L. N., Gosier, J., Susin, L. F., Pashley, D. H. & Tay, F. R. 2013. Wall shear stress effects of different endodontic irrigation techniques and systems. *J Dent*, 41, 636-41.

Gopikrishna, V., Ashok, P., Kumar, A. P. & Narayanan, L. L. 2014. Influence of temperature and concentration on the dynamic viscosity of sodium hypochlorite in comparison with 17% EDTA and 2% chlorhexidine gluconate: An in vitro study. *J Conserv Dent*, 17, 57-60.

Grawehr, M., Sener, B., Waltimo, T. & Zehnder, M. 2003. Interactions of ethylenediamine tetraacetic acid with sodium hypochlorite in aqueous solutions. *Int Endod J*, 36, 411-7.

Gu, L. S., Kim, J. R., Ling, J., Choi, K. K., Pashley, D. H. & Tay, F. R. 2009. Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *J Endod*, 35, 791-804.

Haapasalo, M., Shen, Y., Wang, Z. & Gao, Y. 2014. Irrigation in endodontics. *Br Dent J*, 216, 299-303.

Hancock, H. H., 3dD, Sigurdsson, A., Trope, M. & Moiseiwitsch, J. 2001. Bacteria isolated after unsuccessful endodontic treatment in a North American population. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 91, 579-86.

Harrison, J. W. 1984. Irrigation of the root canal system. *Dent Clin North Am*, 28, 797-808.

Hennessey, T. S. 1973. Some antibacterial properties of chlorhexidine. *J Periodontal Res Suppl*, 12, 61-7.

Hulsmann, M., Heckendorff, M. & Lennon, A. 2003. Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indications for their use. *Int Endod J*, 36, 810-30.

Jeansonne, M. J. & White, R. R. 1994. A comparison of 2.0% chlorhexidine gluconate and 5.25% sodium hypochlorite as antimicrobial endodontic irrigants. *J Endod*, 20, 276-8.

Jiang, L. M., Lak, B., Eijssvogels, L. M., Wesselink, P. & Van Der Sluis, L. W. 2012. Comparison of the cleaning efficacy of different final irrigation techniques. *J Endod*, 38, 838-41.

Johnson, M., Sidow, S. J., Looney, S. W., Lindsey, K., Niu, L. N. & Tay, F. R. 2012. Canal and isthmus debridement efficacy using a sonic irrigation technique in a closed-canal system. *J Endod*, 38, 1265-8.

Kandaswamy, D. & Venkateshbabu, N. 2010. Root canal irrigants. *J Conserv Dent*, 13, 256-64.

Kanter, V., Weldon, E., Nair, U., Varella, C., Kanter, K., Anusavice, K. & Pileggi, R. 2011. A quantitative and qualitative analysis of ultrasonic versus sonic endodontic systems on canal cleanliness and obturation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 112, 809-13.

Khaord, P., Amin, A., Shah, M. B., Uthappa, R., Raj, N., Kachalia, T. & Kharos, H. 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. *J Conserv Dent*, 18, 321-6.

Klyn, S. L., Kirkpatrick, T. C. & Rutledge, R. E. 2010. In vitro comparisons of debris removal of the EndoActivator system, the F file, ultrasonic irrigation, and NaOCl irrigation alone after hand-rotary instrumentation in human mandibular molars. *J Endod*, 36, 1367-71.

Koskinen, K. P., Meurman, J. H. & Stenvall, H. 1980. Appearance of chemically treated root canal walls in the scanning electron microscope. *Scand J Dent Res*, 88, 397-405.

Kumar, V. R., Bahuguna, N. & Manan, R. 2015. Comparison of efficacy of various root canal irrigation systems in removal of smear layer generated at apical third: An SEM study. *J Conserv Dent*, 18, 252-6.

Leikin, J. B. P., Frank P 2008. "*Chlorhexidine Gluconate*", *Poisoning and Toxicology Handbook*, Informa.

Lemos, É. D. M. 2013. *Endodontia* [Online]. [Accessed 10-03-2016 2016].

Leonardo, M. R., Guillen-Carias, M. G., Pecora, J. D., Ito, I. Y. & Silva, L. A. 2005. Er:YAG laser: antimicrobial effects in the root canals of dogs' teeth with pulp necrosis and chronic periapical lesions. *Photomed Laser Surg*, 23, 295-9.

Lester, K. S. & Boyde, A. 1977. Scanning electron microscopy of instrumented, irrigated and filled root canals. *Br Dent J*, 143, 359-67.

Loel, D. A. 1975. Use of acid cleanser in endodontic therapy. *J Am Dent Assoc*, 90, 148-51.

Mader, C. L., Baumgartner, J. C. & Peters, D. D. 1984. Scanning electron microscopic investigation of the smeared layer on root canal walls. *J Endod*, 10, 477-83.

Mccomb, D. & Smith, D. C. 1975. A preliminary scanning electron microscopic study of root canals after endodontic procedures. *J Endod*, 1, 238-42.

Mello, I., Kammerer, B. A., Yoshimoto, D., Macedo, M. C. & Antoniazzi, J. H. 2010. Influence of final rinse technique on ability of ethylenediaminetetraacetic acid of removing smear layer. *J Endod*, 36, 512-4.

Molander, A., Reit, C., Dahlen, G. & Kvist, T. 1998. Microbiological status of root-filled teeth with apical periodontitis. *Int Endod J*, 31, 1-7.

Moodnik, R. M., Dorn, S. O., Feldman, M. J., Levey, M. & Borden, B. G. 1976. Efficacy of biomechanical instrumentation: a scanning electron microscopic study. *J Endod*, 2, 261-6.

Naenni, N., Thoma, K. & Zehnder, M. 2004. Soft tissue dissolution capacity of currently used and potential endodontic irrigants. *J Endod*, 30, 785-7.

Navarro-Escobar, E., Gonzalez-Rodriguez, M. P. & Ferrer-Luque, C. M. 2010. Cytotoxic effects of two acid solutions and 2.5% sodium hypochlorite used in endodontic therapy. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, 15, e90-4.

Neglia, R., Ardizzoni, A., Giardino, L., Ambu, E., Grazi, S., Calignano, S., Rimoldi, C., Richi, E. & Blasi, E. 2008. Comparative in vitro and ex vivo studies on the bactericidal activity of Tetraclean, a new generation endodontic irrigant, and sodium hypochlorite. *New Microbiol*, 31, 57-65.

Nielsen, B. A. & Craig Baumgartner, J. 2007. Comparison of the EndoVac system to needle irrigation of root canals. *J Endod*, 33, 611-5.

Palazzi, F., Morra, M., Mohammdi, Z., Grandini, S. & Giardino, L. 2012. Comparison of the surface tension of 5.25% sodium hypochlorite solution with three new sodium hypochlorite-based endodontic irrigants. *Int Endod J*, 45, 129-35.

Pappen, F. G., Shen, Y., Qian, W., Leonardo, M. R., Giardino, L. & HAAPASALO, M. 2010. In vitro antibacterial action of Tetraclean, MTAD and five experimental irrigation solutions. *Int Endod J*, 43, 528-35.

Paque, F., Al-Jadaa, A. & Kfir, A. 2012. Hard-tissue debris accumulation created by conventional rotary versus self-adjusting file instrumentation in mesial root canal systems of mandibular molars. *Int Endod J*, 45, 413-8.

Paque, F., Boessler, C. & Zehnder, M. 2011. Accumulated hard tissue debris levels in mesial roots of mandibular molars after sequential irrigation steps. *Int Endod J*, 44, 148-53.

Paragliola, R., Franco, V., Fabiani, C., Mazzoni, A., Nato, F., Tay, F. R., Breschi, L. & Grandini, S. 2010. Final rinse optimization: influence of different agitation protocols. *J Endod*, 36, 282-5.

Pashley, D. H. 1992. Smear layer: overview of structure and function. *Proc Finn Dent Soc*, 88 Suppl 1, 215-24.

Pashley, E. L., Birdsong, N. L., Bowman, K. & Pashley, D. H. 1985. Cytotoxic effects of NaOCl on vital tissue. *J Endod*, 11, 525-8.

Pasrich, S. K., Makkar, S. & Gupta, P. 2015. Pressure alteration techniques in endodontics- a review of literature. *J Clin Diagn Res*, 9, ZE01-6.

Pedulla, E., Genovese, C., Campagna, E., Tempera, G. & Rapisarda, E. 2012. Decontamination efficacy of photon-initiated photoacoustic streaming (PIPS) of irrigants using low-energy laser settings: an ex vivo study. *Int Endod J*, 45, 865-70.

Peter, O. A., Bardsley, S., Fong, J., Pandher, G. & Divito, E. 2011. Disinfection of root canals with photon-initiated photoacoustic streaming. *J Endod*, 37, 1008-12.

Pitt, W. G. 2005. Removal of oral biofilm by sonic phenomena. *Am J Dent*, 18, 345-52.

Plotino, G., Cortese, T., Grande, N. M., Leonardi, D. P., Di Giorgio, G., Testarelli, L. & Gambarini, G. 2016. New Technologies to Improve Root Canal Disinfection. *Braz Dent J*, 27, 3-8.

Plotino, G., Pameijer, C. H., Grande, N. M. & Somma, F. 2007. Ultrasonics in endodontics: a review of the literature. *J Endod*, 33, 81-95.

Rahimi, S., Janani, M., Lotfi, M., Shahi, S., Aghbali, A., Vahid Pakdel, M., Salem Milani, A. & Ghasemi, N. 2014. A review of antibacterial agents in endodontic treatment. *Iran Endod J*, 9, 161-8.

Rhoder, J. S. 2006. *Advanced Endodontics - Clinical Retreatment and Surgery*, Taylor and Francis Group.

Rocas, I. N., Jung, I. Y., Lee, C. Y. & Siqueira, J. F., JR. 2004a. Polymerase chain reaction identification of microorganisms in previously root-filled teeth in a South Korean population. *J Endod*, 30, 504-8.

Rocas, I. N., Siqueira, J. F., JR. & Santos, K. R. 2004b. Association of *Enterococcus faecalis* with different forms of periradicular diseases. *J Endod*, 30, 315-20.

Rodig, T., Bozkurt, M., Konietschke, F. & Hulsmann, M. 2010. Comparison of the Vibringe system with syringe and passive ultrasonic irrigation in removing debris from simulated root canal irregularities. *J Endod*, 36, 1410-3.

Saber Sel, D. & Hashem, A. A. 2011. Efficacy of different final irrigation activation techniques on smear layer removal. *J Endod*, 37, 1272-5.

Sabins, R. A., Johnson, J. D. & Hellstein, J. W. 2003. A comparison of the cleaning efficacy of short-term sonic and ultrasonic passive irrigation after hand instrumentation in molar root canals. *J Endod*, 29, 674-8.

Schoeffel, G. J. 2007. The EndoVac method of endodontic irrigation: safety first. *Dent Today*, 26, 92, 94, 96 passim.

Sen, B. H., Piskin, B. & Demirci, T. 1995. Observation of bacteria and fungi in infected root canals and dentinal tubules by SEM. *Endod Dent Traumatol*, 11, 6-9.

Shih, M., Marshall, F. J. & Rosen, S. 1970. The bactericidal efficiency of sodium hypochlorite as an endodontic irrigant. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 29, 613-9.

Siqueira, J. F., JR., Araujo, M. C., Garcia, P. F., Fraga, R. C. & Dantas, C. J. 1997. Histological evaluation of the effectiveness of five instrumentation techniques for cleaning the apical third of root canals. *J Endod*, 23, 499-502.

Spratt, D. A., Pratten, J., Wilson, M. & Gulabivala, K. 2001. An in vitro evaluation of the antimicrobial efficacy of irrigants on biofilms of root canal isolates. *Int Endod J*, 34, 300-7.

Stabholz, A., Kettering, J., Aprecio, R., Zimmerman, G., Baker, P. J. & Wikwsjo, U. M. 1993. Antimicrobial properties of human dentin impregnated with tetracycline HCl or chlorhexidine. An in vitro study. *J Clin Periodontol*, 20, 557-62.

Stojicic, S., Shen, Y., Qian, W., Johnson, B. & Haapasalo, M. 2012. Antibacterial and smear layer removal ability of a novel irrigant, QMiX. *Int Endod J*, 45, 363-71.

Susin, L., Liu, Y., Yoon, J. C., Parente, J. M., Loushine, R. J., Ricucci, D., Bryan, T., Weller, R. N., Pashley, D. H. & Tay, F. R. 2010. Canal and isthmus debridement efficacies of two irrigant agitation techniques in a closed system. *Int Endod J*, 43, 1077-90.

Tabassum, S. & Khan, F. R. 2016. Failure of endodontic treatment: The usual suspects. *Eur J Dent*, 10, 144-7.

Tanomaru, J. M., Leonardo M. R., Tanomar Filho, M., Bonetti Filho, I. & Silva, L. A. 2003. Effect of different irrigation solutions and calcium hydroxide on bacterial LPS. *Int Endod J*, 36, 733-9.

Torabinejad, M., Handysides, R., Khademi, A. A. & Bakland, L. K. 2002. Clinical implications of the smear layer in endodontics: a review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 94, 658-66.

Torabinejad, M., Khademi, A. A., Babagoli, J., Cho, Y., Johnson, W. B., Bozhilov, K., Kim, J. & Shabahang, S. 2003a. A new solution for the removal of the smear layer. *J Endod*, 29, 170-5.

Torabinejad, M., Shabahang, S., Apécio, R. M. & Kettering, J. D. 2003b. The antimicrobial effect of MTAD: an in vitro investigation. *J Endod*, 29, 400-3.

Townsend, C. & Maki, J. 2009. An in vitro comparison of new irrigation and agitation techniques to ultrasonic agitation in removing bacteria from a simulated root canal. *J Endod*, 35, 1040-3.

Uroz-Torres, D., Gonzalez-Rodriguez, M. P. & Ferrer-Luque, C. M. 2010. Effectiveness of the EndoActivator System in removing the smear layer after root canal instrumentation. *J Endod*, 36, 308-11.

Vioich, D. R. & Chandler, N. P. 2010. The smear layer in endodontics - a review. *Int Endod J*, 43, 2-15.

Walker, A. 1926. A Definite and dependable therapy for pulpless teeth. *The Journal of the American Dental Association*, 23, 1418-1425.

Weller, R. N., BRADY, J. M. & BERNIER, W. E. 1980. Efficacy of ultrasonic cleaning. *J Endod*, 6, 740-3.

Wu, M. K., Van Der Sluis L. W. & Wesselink, P. R. 2003. The capability of two hand instrumentation techniques to remove the inner layer of dentine in oval canals. *Int Endod J*, 36, 218-24.

Yamaguchi, M., Matsumori, M., Ishikawa, H., Sakurai, T., Nakamura, H., Naitoh, M., Shijima, M. & Kikuchi, A. 1988. The use of ultrasonic instrumentation in the cleansing and enlargement of the root canal. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 65, 349-53.

Zamany, A., Safavi, K. & Spangberg, L. S. 2003. The effect of chlorhexidine as an endodontic disinfectant. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 96, 578-81.

Zehnder, M. 2006. Root canal irrigants. *J Endod*, 32, 389-98.

Zehnder, M., Schmidlin, P., Sener, B. & Waltimo, T. 2005. Chelation in root canal therapy reconsidered. *J Endod*, 31, 817-20.

Zmener, O., Pameijer, C. H., Serrano, S. A., Palo, R. M. & Iglesias, E. F. 2009. Efficacy of the NaviTip FX irrigation needle in removing post instrumentation canal smear layer and debris in curved root canals. *J Endod*, 35, 1270-3.