



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO

FO
FACULTAD DE
ODONTOLOGÍA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

TRABAJO FINAL PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE ESPECIALISTA
EN ENDODONCIA

**RECURSOS ACTUALES DE IRRIGACIÓN
EN ENDODONCIA**

ALUMNA: Od. Gisela Vitale

DIRECTORA: Esp. Od. Mariana Carvajal

MENDOZA, JUNIO 2020

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en igual medida a todas las personas que de diferentes maneras me ayudaron a lograr este gran objetivo en mi vida.

En primer lugar, a mi familia, por su apoyo incondicional.

Al equipo de docentes de la Carrera de Especialización en Endodoncia por su invaluable profesionalismo, dedicación y capacidad de formación.

A mi directora de tesina Esp. Od. Mariana Carvajal por su guía, buena disposición y paciencia durante la realización de mi trabajo final.

A mis compañeros que hicieron que el cursado fuera ameno e inolvidable, me llevo un hermoso y divertido grupo de amigos y colegas.

A la Facultad de Odontología de la Universidad Nacional de Cuyo por darme la posibilidad de perfeccionamiento en la profesión.

ÍNDICE

Resumen.....	Pág. 4
Introducción.....	Pág. 6
Caso Clínico.....	Pág. 29
Discusión.....	Pág. 35
Conclusiones.....	Pág. 38
Referencias Bibliográficas.....	Pág. 39

RESUMEN

El éxito de la terapia endodóntica implica la completa limpieza, desinfección y conformación del sistema de conductos, lo cual depende de la eliminación del tejido pulpar vital o necrótico, remanentes dentinarios y microorganismos. Para ello es necesario, concomitantemente durante la conformación canalicular, el uso de soluciones irrigantes con actividad antimicrobiana, quelante, disolvente y hemostáticas, las cuales pueden aumentar y mejorar sus propiedades químicas, mecánicas y biológicas cuando se los activa por medio de diferentes dispositivos.

En efecto, no resulta posible dar forma y limpiar completamente el conducto radicular únicamente con el uso de instrumentación rotatoria, ya que los instrumentos de níquel-titanio actualmente disponibles sólo actúan sobre el cuerpo central del conducto, dejando las aletas e istmos intactos después de completar la preparación. Estas zonas pueden albergar restos de tejido, microbios y subproductos, lo que podría no sólo impedir una adaptación estrecha del material de obturación y sino también dar lugar a una inflamación perirradicular persistente. Un irrigante ideal debe reducir la fricción del instrumento durante la preparación, facilitar la eliminación de la dentina, disolver el tejido inorgánico y orgánico, penetrar a la periferia del conducto, neutralizar bacterias y levaduras y no ser irritante para los tejidos periapicales. Sin embargo, no hay un único irrigante que pueda satisfacer todos estos requisitos. Además, existen diversos métodos como por ejemplo disminuir el pH, aumentar la temperatura, así como la adición de tensioactivos para aumentar la eficacia humectante de los mismos, y lo que es más importante, estos irrigantes deben entrar en contacto directo con las superficies de todo el conducto para una acción eficaz, en particular para las porciones apicales de pequeños canales radiculares. Para lograr estos objetivos, debe existir un sistema eficaz de liberación del irrigante hasta la longitud de trabajo. Dicho sistema deberá brindar un flujo y un volumen adecuados para cumplir con el desbridamiento del sistema de canales sin forzar la solución en los tejidos perirradiculares. Al seleccionar un irrigante y la técnica, se debe tener en cuenta su eficacia y seguridad.

Es por ello que el objetivo que se propone en este trabajo es profundizar en el estudio tanto de las diferentes soluciones irrigantes como de las variadas técnicas de irrigación vigentes en la actualidad, utilizados para optimizar los procedimientos de limpieza y desinfección en los tratamientos endodónticos, haciendo énfasis en la irrigación ultrasónica pasiva. Asimismo, se desarrolla un caso clínico en donde la activación de los irrigantes por medio de la utilización de un dispositivo ultrasónico posibilitó mejorar notablemente la permeabilidad del conducto.

INTRODUCCIÓN

La endodoncia, según la Asociación Americana de Endodoncia (AAE), es la especialidad de la odontología que estudia lo concerniente a la morfología, fisiología y patología de la pulpa (Mohammadi *et al.*, 2015) dental humana y los tejidos perirradiculares. Neelakatan, P.*et al.* (2019) refirieron que el tratamiento endodóntico comprende terapias del tejido pulpar, vital o necrótico, reintervenciones endodónticas no quirúrgicas y endodoncia quirúrgica.

Durante la terapia endodóntica se establecen tres procedimientos esenciales; instrumentación apropiada, irrigación y obturación de los conductos radiculares, en donde la irrigación desempeña un rol fundamental determinando la salud de los tejidos periapicales, cumpliendo funciones mecánicas, químicas y microbiológicas, debido a que remueve el remanente de tejido pulpar vital y necrótico, microorganismos y sus toxinas desde el sistema de conductos optimizando la desinfección y previniendo la reinfección de los mismos (Haapasalo *et al.*, 2014) (Mozo, Llena and Forner, 2012).

Asimismo, el éxito de una endodoncia se evalúa en función de la curación de la periodontitis apical causada por la presencia de biofilm bacteriano. La naturaleza compleja de éste y su resistencia a los agentes antimicrobianos sumadas a las complejidades anatómicas de los conductos, hacen más dificultosa la limpieza de los mismos; por consiguiente, aquellos microorganismos aún presentes dentro de los conductos después de su preparación, son responsables de la persistencia de la periodontitis apical (Nair *et al.*, 2005).

Cabe destacar que durante la instrumentación mecánica se genera una estructura amorfa compuesta por sustancias orgánica e inorgánicas como restos de dentina, fragmentos de procesos odontoblasticos, microorganismos, sus productos y material necrótico denominada smear layer o barro dentinario. La importancia de su remoción radica en que éste puede penetrar los túbulos dentinarios hasta 40 micrómetros de profundidad lo cual dificulta la penetración de medicación intraconducto dentro de los mismos e influye en la adaptación del material de obturación a las paredes de los conductos. Esta acumulación

de detritus interfiere con la anti sepsis y la obturación potenciando el fracaso del tratamiento endodóntico (Chubb, 2019) (Andrabi *et al.*, 2014).

Por otra parte, se ha demostrado también que incluso en conductos bien preparados queda aproximadamente un 35% de las paredes sin instrumentar; de ahí la importancia de la acción química y mecánica de los irrigantes. Mecánicamente, los irrigantes actúan como un enjuague para la remoción del smear layer, logrando así el completo desbridamiento y desinfección del sistema de conductos; de lo contrario el barro dentinario permanecerá en el conducto después de la instrumentación (Mohammadi *et al.*, 2015).

El desbridamiento químico es especialmente necesario en dientes con anatomía interna compleja tales como aletas, istmos, conductos laterales y áreas amplias de un conducto ovalado que pueden no ser alcanzadas por la instrumentación. Por ello es necesario actuar en estas áreas de las paredes donde puede desarrollarse un complejo biofilm difícil de desorganizar (Haapasalo *et al.*, 2014) (Darcey *et al.*, 2016).

La reducción de la carga microbiana en el sistema de conductos es un prerrequisito para curar las lesiones de origen endodóntico. Dicha reducción bacteriana es influenciada por el tipo de irrigante, el método de liberación y su activación. Otras de las funciones fundamentales, según el irrigante usado, son reducir la fricción entre los instrumentos y la dentina, evitar el incremento de la temperatura causada por dicho roce, mejorar la efectividad del corte de las limas, disolver tejidos, y además, lograr un efecto de lavado, antimicrobiano y antibiofilm (Haapasalo *et al.*, 2014).

Las características que sugiere la Asociación Americana de Endodoncia de una solución irrigante óptima para el tratamiento endodóntico son: amplio espectro antimicrobiano, alta eficacia contra anaerobios y microorganismos facultativos organizados en biofilm, capacidad para disolver remanentes de tejido pulpar necrótico, inactivar endotoxinas, prevenir la formación de smear layer durante la instrumentación o disolverlo una vez formado, no presentar toxicidad en contacto con tejido vital, no ser cáustico para el tejido periodontal y tener mínimo potencial para causar reacciones anafilácticas.

Otras características referidas por Haapasalo, M.*et al.* (2014) de una solución irrigante ideal son: el bajo costo, poseer acción de lavado, mejorar el corte de la dentina por los

instrumentos, control de la temperatura, buena penetración dentro del sistema de canales, no reaccionar con consecuencias negativas con otros materiales dentales y no debilitar a la dentina.

Kandaswami, D. *et al.* (2010), clasificó los irrigantes como agentes químicos sintéticos y agentes naturales. Dentro de los primeros se encuentran aquellos que disuelven tejidos como el hipoclorito de sodio (NaOCL), los agentes antibacterianos como Clorhexidina y MTAD y los agentes quelantes como EDTA, ácido maleico, HEBP y ácido cítrico. Como irrigantes naturales se consideran el Té verde, Herbal (triphala) y la morinda citrifolia.

El hipoclorito de sodio tiene una extensa historia en medicina y odontología y su uso continúa siendo popular incluso hoy en día. Fue descrito como irrigante en endodoncia en 1919 y posee muchos de los atributos de un agente antimicrobiano ideal (Darcey *et al.*, 2016). Es un agente oxidante en forma líquida de color verdoso o amarillento. Químicamente está compuesto por un átomo de cloro (CL), un átomo de sodio (Na) y un átomo de oxígeno (O) y se obtiene mediante el método de Hooker (Othmer 2004).

Además, se comporta como un efectivo antimicrobiano y agente proteolítico, tiene poder para disolver tejido orgánico y actúa también como lubricante. Las soluciones comerciales de NaOCL son fuertemente alcalinas e hipertónicas. El NaOCL es también, un solvente orgánico eficiente que causa degeneración en la dentina debido a la disolución del colágeno por la ruptura del enlace entre los átomos de carbono y la desorganización de la estructura proteica primaria (T. Rödig *et al.*, 2010).

El poder antimicrobiano del NaOCL radica en su capacidad de oxidación y esta capacidad de remover el biofilm es dosis dependiente, es decir, a más concentración más actividad antibacteriana. Principalmente, un biofilm es una estructura compleja en donde crecen microorganismos, embebidos en una matriz extracelular; es un sistema dinámico y representa un modo de protección de crecimiento que permite a las células sobrevivir. El estadio inicial de la formación del biofilm incluye la unión de la bacteria a un sustrato, su crecimiento y división, conduciendo a la colonización de las áreas circundantes y su posterior maduración. El ambiente en un biofilm no es homogéneo, sino que están organizadas según sus requerimientos y tiene relevancia clínica debido a que proporciona

a la bacteria un ambiente protector de agentes antibacterianos, antibióticos y de la respuesta inmune (Hall-Stoodley and Stoodley, 2009).

El NaOCL actúa sobre el biofilm ya sea disolviendo completamente de células con ausencia de evidencia visual, desorganizando y separando las células bacterianas dejándolas no viables, dejándolas adheridas al biofilm, pero no viables, rotas y separadas del biofilm, pero viables o adheridas y viables. El NaOCL al 6% demostró ser el único agente capaz de remover físicamente un biofilm artificial y matar las bacterias, demostrando un efecto dosis dependiente del NaOCL contra las mismas, es decir que en altas concentraciones fue más antibacteriano (Clegg *et al.*, 2006).

Debido a que las moléculas de cloro son muy volátiles, la solución se torna inestable, es por ello que la misma debe ser almacenada en una botella no reactiva, hermética, de color oscuro y en un lugar fresco (Darcey *et al.*, 2016).

El mecanismo de acción del NaOCL sobre el tejido orgánico se manifiesta a través de tres reacciones: una reacción de saponificación, una reacción de neutralización de aminoácidos y una reacción de cloraminación.

En la reacción de saponificación actúa como un solvente orgánico y de grasas, degradando los ácidos grasos y transformándolos en sales de ácidos grasos (jabón) y glicerol (alcohol), lo cual reduce la tensión superficial de la solución y sobre los aminoácidos reacciona neutralizándolos, formando agua y sal con la salida del ion hidroxilo, resultando en una reducción del pH (Estrela *et al.*, 2002).

En referencia a la reacción de cloraminación, el ácido hipocloroso presente en el hipoclorito de sodio, al entrar en contacto con el tejido orgánico, actúa como un solvente y libera cloro. Luego, éste se combina con una proteína del grupo amina formando cloramina, la cual interfiere en el metabolismo celular. Además, el cloro, al ser un fuerte oxidante, tiene una acción antimicrobiana inhibiendo las enzimas bacterianas y llevando a una oxidación irreversible a los grupos sulfidrilos de las mismas (Estrela *et al.*, 2002).

Las tres reacciones descritas ocurren ante la presencia de microorganismos y de tejido orgánico, conduciendo a un efecto antimicrobiano y al proceso de disolución de tejidos.

Por otra parte, el ion hidroxilo daña el componente lipídico de la membrana bacteriana y el ADN; su alto pH desnaturaliza las proteínas y perjudica las condiciones celulares ideales. Asimismo, el ion cloro rompe los enlaces peptídicos disolviendo las proteínas y liberando, además, cloramina que es un compuesto antibacteriano. Por consiguiente, la solución de hipoclorito de sodio continúa siendo considerada una solución gold standard dentro de los irrigantes endodónticos (Darcey *et al.*, 2016).

En la literatura se puede encontrar que el NaOCL puede ser usado en concentraciones del rango de 0,5 a 6%. Las altas y bajas concentraciones son igualmente eficientes en reducir el número de bacterias en sistemas de conductos infectados pero el efecto de disolución de tejidos está directamente relacionado a la concentración (Estrela *et al.*, 2002).

En suma, el régimen de irrigación más efectiva es NaOCL al 5,25% por 40 min. La irrigación con concentraciones de 1,3 % y 2,5% para el mismo intervalo de tiempo es inefectivo para remover *E. faecalis* desde los túbulos dentinarios (Retamozo *et al.*, 2010). El volumen es más crítico para la desinfección que la concentración. La irrigación frecuente con NaOCL fresco es importante y el uso de gran cantidad de irrigante compensa las bajas concentraciones que pudieran utilizarse. Hay que tener en cuenta que el NaOCL inactivará estos componentes muy rápido por lo que solución irrigante fresca deberá ser agregado al sistema de canales constantemente. El ion cloro, el cual es responsable de la disolución y capacidad antibacteriana del NaOCL, es inestable y consumido rápidamente durante la primera fase de disolución de tejidos, probablemente dentro de los 2 min., lo cual proporciona la razón para el continuo recambio.

En referencia al tiempo necesario para alcanzar niveles óptimos de acción química, algunos artículos refieren la acción bactericida en 30 min. usando NaOCL al 0,5%, mientras más alta es la concentración se necesitará solo 30 seg. para hacer el mismo trabajo. Es importante recordar que la presencia de materia orgánica, exudado inflamatorio, restos de tejido y biomasa microbiana consume las moléculas de NaOCL y en consecuencia debilita su efecto. El tiempo óptimo que un irrigante con hipoclorito en una concentración determinada necesita permanecer en un sistema de conductos es aún un problema pendiente de respuesta (Zehnder, 2006).

Por otra parte, podemos modificar la eficacia del NaOCL alterando el pH ya que sus propiedades antibacterianas y disolución de tejidos decrece cuando se lo diluye en agua dando la siguiente reacción: $\text{NaOCL} + \text{H}_2\text{O} = \text{NaOH} + \text{HOCL}$ (ácido hipocloroso). En solución acuosa, el ácido Hipocloroso se disocia en anión hipoclorito (OCL^-). El cloro disponible es la suma de HOCL y la concentración de OCL^- en la solución y puede ser definido como una medida de la capacidad oxidante y es expresada en término de la cantidad de cloro elemental.(Zehnder, 2006)

El ácido hipocloroso se considera un oxidante más fuerte que el ion hipoclorito. La molécula del HOCL es responsable de la fuerte cloración y la acción oxidante sobre los tejidos y microorganismo. La disociación de este ácido hipocloroso depende del pH, a un pH 10, básicamente todo el cloro está en la forma de anión hipoclorito, lo contrario ocurre a un pH 4,5, donde el cloro está en la forma de ácido hipocloroso. Las propiedades desinfectantes decrecen con pH altos.

Un aumento de la temperatura en el NaOCL de baja concentración mejora su capacidad de disolver tejidos y remueve virutas de dentina más eficientemente. Es así como, la capacidad del NaOCL al 1 % a 45°C en disolver la pulpa dental humana es igual a una solución al 5,25% a 20°C (Zehnder, 2006).

La profundidad de penetración del NaOCL en los túbulos dentinarios varía entre 77 y 300 μm , y depende de la concentración, el tiempo y la temperatura (Zou *et al.*, 2010).

Desafortunadamente, aunque el NaOCL tiene muchas de las propiedades ideales, también tiene limitaciones como la toxicidad. Las características químicas responsables de la hidrólisis del biofilm produce efectos devastadores en células del tejido vivo siendo extremadamente citotóxico. Por tal motivo debe ser usado adecuadamente y con las medidas de precaución necesarias en un tratamiento endodóntico. Además, es inefectivo en la remoción del smear layer, corrosivo, puede causar decoloración y posee olor desagradable.

Las recomendaciones fundamentales en cuanto al uso clínico del NaOCL en concentraciones entre 2,5 y 6% son: debe ser usado durante la limpieza completa y la conformación, la cámara pulpar debe ser utilizada como reservorio de irrigante fresco y

una vez que la preparación mecánica esté finalizada y se determine la lima apical maestra, se debe comenzar con la activación de NaOCL fresco en cada conducto (Gulabivala *et al.*, 2010).

Otra de las soluciones irrigantes en endodoncia es el digluconato de clorhexidina, la cual es extensamente usada en desinfección debido a su excelente actividad antimicrobiana, sin embargo, su capacidad para disolver tejido está completamente ausente. Es una sal fácilmente soluble en agua, muy estable, la cual posee una molécula fuertemente básica con un pH entre 5,5 y 7. Químicamente pertenece al grupo polibiguanida que consiste en dos aros simétricos de 4-clorofenol y dos grupos biguanida conectados por una cadena central de hexametileno (Zehnder, 2006).

Este compuesto tiene una actividad de amplio espectro contra bacterias Gram positivas, negativas y antifúngico, como resultado de la disrupción de la pared de la célula bacteriana debido a su carga catiónica capaz de unirse electrostáticamente a la superficie cargada negativamente de la bacteria, dañando las capas exteriores de la pared celular y haciéndola más permeable. Es hidrofóbica y lipofílica e interactúa con fosfolípidos y lipopolisacáridos de la membrana celular bacterianas, entra a la célula a través de un tipo de mecanismo de transporte activo o pasivo, alterando el equilibrio osmótico de la célula, lo cual aumenta la permeabilidad de la pared celular permitiendo a la molécula de CHX penetrar dentro de la bacteria. El daño de esta delicada membrana permite la filtración de componentes intracelulares, en especial adenosín trifosfato y ácido nucleico. Como consecuencia el citoplasma coagula reduciendo la fuga, produciéndose un efecto bifásico sobre la permeabilidad de la membrana (Darcey *et al.*, 2016) (Athanassiadis, Abbott and Walsh, 2007).

Dependiendo de su concentración, la CHX puede tener efecto bacteriostático o bactericida. En altas concentraciones (2%), actúa como un detergente y ejerce su efecto bactericida dañando la membrana celular y causando la precipitación del citoplasma. A bajas concentraciones (0,2 %), la CHX es bacteriostática, causando que sustancias de bajo peso molecular se filtren fuera de la membrana celular sin dañar permanentemente la célula.

También, la CHX ha sido usada como sustituto del NaOCL, sin embargo, sigue siendo inferior debido a que no posee la capacidad de disolver materia orgánica y su efecto sobre el biofilm bacteriano es menor (Darcey *et al.*, 2016).

Debido a su molécula de naturaleza catiónica, puede ser adsorbida por sustratos aniónicos como la mucosa oral y la estructura dentaria como la hidroxiapatita, siendo una reacción reversible de recepción y lanzamiento que conduce a la substantividad. Este efecto que depende de la concentración de la CHX, a bajas concentraciones solo una monocapa es adsorbida sobre la superficie del diente y a altas concentraciones una multicapa, proporcionando un reservorio de CHX el cual puede rápidamente lanzar el exceso al ambiente cuando decrece (Darcey *et al.*, 2016).

Sin embargo, se han informado reacciones alérgicas como dermatitis de contacto por el uso de CHX como también casos de gingivitis descamativa, decoloración de dientes, lengua y disgeusia (Mohammadi and Abbott, 2009).

El efecto antimicrobiano del NaOCL al 2,5% y clorhexidina al 0,2% usados juntos es mayor que si usamos cada uno por separados, pero la combinación entre ambos irrigantes produce una reacción ácido-base dando lugar a la formación de una sal neutra insoluble llamada paracloroanhilina (PCA). Este precipitado se produce cuando las moléculas de NaOCL se mezclan con las de CHX hidrolizándose en pequeños fragmentos. El primer enlace que se rompe en esta reacción es entre el carbono y el nitrógeno debido a la baja energía de disociación de enlace de estos dos átomos. La filtración de PCA desde el precipitado insoluble mostró ser citotóxico en ratas y posiblemente carcinogénico en humanos. A nivel de los conductos, este precipitado cubre la superficie de dentina ocluyendo significativamente los túbulos afectando el sellado del canal radicular durante la obturación y también mancha el elemento dentario (Basrani *et al.* 2007) (Darcey *et al.*, 2016).

El compuesto PCA mostró ser toxico en humanos con exposiciones cortas, resultando en cianosis la cual es una manifestación de la formación de metahemoglobina. Esta interacción se evita o se minimiza irrigando el conducto con agua destilada o solución

fisiológica entre ambos irrigantes o usando por ejemplo EDTA después del NaOCL y antes de CHX o alternativamente secando los canales con puntas de papel.

Como se refería con anterioridad, durante el desarrollo de la preparación quirúrgica se generan cantidades variables de detritus compuesto por restos de dentina y remanentes pulpares ya sea vitales o necróticos que se depositan y acumulan sobre las paredes del conducto radicular. En el 2003 la Asociación Americana de Endodoncia definió al smear layer como una película superficial de detritus retenidos sobre la dentina u otras superficies después de la instrumentación ya sea con instrumentos rotatorios o limas endodónticas, que consiste en partículas de dentina, remanentes de tejido pulpar vital o necrótico, componentes bacterianos e irrigantes retenidos (Ng, Mann and Gulabivala, 2011).

Algunos investigadores enfatizan la importancia de remover el smear layer para permitir al irrigante, medicación y cementos penetrar dentro de los túbulos dentinarios y mejorar la desinfección. El componente orgánico del mismo logra ser degradado por la solución de NaOCL, no así el componente inorgánico. Para ello es necesario la utilización de agentes químicos de otra naturaleza como son los quelantes.

Los agentes quelantes pueden ser clasificados en débiles o fuertes; dentro del grupo de los quelantes fuertes se encuentran: Ácido etildiaminotetraacético (EDTA), Ácido cítrico y Ácido maleico mientras que un quelante débil es el Ácido etidrónico o etidronato (HEBP). El ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) es sugerido como irrigante porque puede quelar y remover la porción mineralizada del smear layer. Tiene la capacidad de captar iones metálicos di y tricatiónicos como el Ca^{2+} y el Fe^{3+} que después de estar unidos al EDTA, permanecen en suspensión, pero presentan reactividad disminuida.

En exposición directa por tiempo extendido, el EDTA extrae proteínas de la superficie bacteriana por combinación con iones metálicos, lo cual puede eventualmente provocar la muerte bacteriana. Los quelantes tales como el EDTA, se unen a los iones Ca disponibles formando complejos estables, logrando un equilibrio sin tener lugar ninguna disolución adicional, por lo tanto, el EDTA es autolimitante (Hülsmann, Heckendorff and Lennon, 2003).

Sin embargo, para que pueda remover el smear layer efectivamente, un componente proteolítico como el NaOCL, debe usarse para remover el componente orgánico del mismo.

Un enjuague final continuo de 3 minutos con 5 ml de EDTA al 17%, remueve el smear layer de las paredes del conducto radicular, descalcificando la dentina a una profundidad de 20 a 30 μm en 5 min., sin mostrar erosión peritubular, lo que si se ve cuando el EDTA se usa como primer enjuague seguido por NaOCL al 5,25% (Saito *et al.*, 2008).

Las investigaciones que estudiaron la interacción del EDTA con NaOCL concluyeron que el EDTA mantuvo su capacidad de formar complejos con el Ca cuando se lo mezclaba con NaOCL, pero el EDTA causaba que el NaOCL perdiera su capacidad de disolver tejidos. Clínicamente, esto sugiere que el EDTA y NaOCL deben usarse separadamente. En la endodoncia moderna, EDTA es usado por alrededor de 1 min. una vez que se completó la limpieza y conformación de los conductos, pudiéndose activar ultrasónicamente para una mejor penetración en los túbulos dentinarios. Cabe destacar que los quelantes tienen un rango de temperatura en la que trabajan mejor, cuando el EDTA es calentado de 20 a 90°, la capacidad de unirse al Ca decrece (Hülsmann, Heckendorff and Lennon, 2003) (Zehnder *et al.*, 2005).

Asimismo, cuando el EDTA interactúa con la CHX, se forma un precipitado blanco el cual el 90 % es EDTA o CHX, con menos de 1% de un producto de descomposición formado por agua, gluconato y sodio. La CHX no es degradada por el EDTA bajo condiciones normales, este precipitado es una sal formada por neutralización electrostática de cationes de CHX y aniones de EDTA. La significancia clínica de este precipitado es aún desconocida (Rasimick *et al.*, 2008).

Igualmente, el ácido cítrico es un ácido orgánico débil utilizado como irrigación final por su buena acción en remover el smear layer cuando se lo utiliza a una concentración del 10 % y demostró ser menos citotóxico y menos agresivo en la respuesta inflamatoria que el EDTA al 17 % (Mohammadi Z *et al.* 2017).

También, el ácido maleico es un ácido orgánico medio dicarboxílico, que posee habilidad para remover el smear layer. Se ha reportado que una irrigación final con ácido maleico

al 7% por 1 minuto fue más eficiente que el EDTA al 17% en remover el smear layer desde el tercio apical del sistema de conductos (Mohammadi *et al.*, 2017).

Existe, además, otra sustancia conocida como ácido etidróico o etidronato (1-hidroxietilideno- 1,1-bifosfonato), (HEBP), que previene la reabsorción ósea y que ha sido utilizada en medicina en pacientes con enfermedad de Paget u osteoporosis. Es considerado el único quelante que puede mezclarse con NaOCL sin interferir en su propiedad antimicrobiana. Ha sido propuesto como alternativa al EDTA y al ácido maleico y se usa en una concentración de 9 a 18% aunque su cinética de desmineralización fue significativamente más lenta que EDTA al 17%). La combinación de NaOCL y HEBP previene la formación del smear layer durante la instrumentación rotatoria, efecto similar logrado con NaOCL seguido por EDTA. Consecuentemente, la solución NaOCL/HEBP puede ser usado como un irrigante único durante y después de la instrumentación, reemplazando el enjuague final con un agente quelante (Zehnder *et al.*, 2005) (De-Deus *et al.*, 2008).

Asimismo, se han desarrollado dos nuevos irrigantes basados en la mezcla de antibióticos, ácido cítrico y un detergente que actúa como surfactante disminuyendo la tensión superficial lo que facilita su penetración en la dentina. Esto le otorga la capacidad de remover el smear layer y el tejido orgánico desde los conductos infectados. Uno de ellos, QMix, fue introducido al mercado en el 2011, está compuesto por CHX, EDTA más un surfactante. Su uso se recomienda una vez finalizada la instrumentación del conducto, después de haber irrigado con NaOCL (Stojicic *et al.*, 2012) (Darcey *et al.*, 2016).

De modo similar, Torabinejad *et al.* (2003) desarrolló un irrigante llamado MTAD que combina propiedades quelantes y antibacterianas. Es una mezcla de 3% de doxiciclina, 4,3 % de ácido cítrico y un detergente (Tween 80). El efecto bactericida del MTAD fue inferior al NaOCL de 1%-6% contra *E faecalis* y su actividad antibacteriana puede ser inhibida por el efecto buffer de la dentina y la albúmina del suero presente en los conductos radiculares. El ácido cítrico del MTAD puede servir para remover el smear layer, permitiendo a la doxiciclina entrar a los túbulos dentinarios y ejercer el efecto antibacteriano. El protocolo indica su uso como irrigación final de 5 minutos previa

irrigación con NaOCL al 1,3 %, aunque este enjuague final puede tener un efecto negativo sobre la unión de cementos a base de resinas e Hidróxido de Ca debido a la formación de precipitados (Torabinejad *et al.*, 2003).

Otro producto disponible es el Tetraclean (Ogna Laboratori Farmaceutici, Muggio, Italia) que es una combinación similar al MTAD, pero difiere en la concentración del antibiótico (150 mg/5 ml de doxiciclina en el MTAD y 50 mg/5ml para Tetraclean) y el tipo de detergente (Tween 80 para MTAD, polipropilenglicol para Tetraclean) (Mohammadi *et al.*, 2012).

Por otra parte, en el grupo de los agentes naturales, existe el Herbal (triphala) que consiste en frutas secadas y pulverizadas de tres plantas medicinales: Terminalia bellerica, Terminallia chebula y Emblica officinalis. Este agente logró matar el 100% de E faecalis en 6 min., lo cual puede ser atribuido a un efecto sinérgico de los componentes de las tres plantas medicinales. Es además rico en ácido cítrico, el cual ayuda a remover el smear layer. Las ventajas de usar esta alternativa es la fácil disponibilidad, costo-efectividad, larga vida útil, baja toxicidad y ausencia de resistencia microbiana (Prabhakar *et al.*, 2010).

Asimismo, el té verde, extraído de la planta Camelia sinensis, posee polifenoles los cuales mostraron una significativa actividad antibacteriana contra el E faecalis, logrando su eliminación al 100% durante un uso de 6 min., además puede suprimir la progresión de la periodontitis apical por ser un efectivo agente antimicrobiano. (Prebhakar *el al.*,2010)(Lee *et al.*, 2009).

También, la morinda citrifolia (MCJ) es una planta exótica polinesia cuyo jugo posee un amplio rango de efectos terapéuticos, incluyendo efecto antibacteriano, antifúngico, antiinflamatorio, antihelmíntico, analgésico, hipotensivo, además, MCJ contiene como componente antibacteriano L-asperuloside y alizarin.

La eficacia del MCJ al 6% para remover el smear layer fue similar al del NaOCL al 6% en conjunción con EDTA. Su uso tiene la ventaja de que es un antioxidante biocompatible y esto no produce injurias severas al paciente si ocurre un accidente de extravasación como ocurre con el NaOCL (Murray *et al.*, 2008).

Otros irrigantes utilizados en endodoncia incluyen: solución salina, peróxido de hidrógeno, peróxido de urea y componentes iodados, los cuales no tienen capacidad de disolución de tejidos y todos excepto el yodo, no poseen actividad antibacteriana. Por lo tanto, su uso no está indicado en circunstancias normales (Haapasalo *et al.*, 2014).

Sin embargo, para lograr la acción de los agentes químicos detallados anteriormente, debe existir un sistema eficaz de liberación del irrigante hasta la longitud de trabajo. Para ello, es necesario contar con un sistema mejorado de administración que proporcione un flujo y un volumen de irrigación adecuados a dicha longitud para ser eficaz en la debridación del sistema de canales sin forzar la solución en los tejidos perirradiculares.

Inicialmente, los objetivos de la irrigación pueden ser separados en dos grupos ya que realizan dos efectos simultáneos pero distintos. Uno de ellos es el efecto químico, que conlleva la ruptura química o inactivación del biofilm, muerte de microorganismos e inactivación de endotoxinas, disolución de tejido pulpar remanente y del smear layer por la actividad química de los componentes del irrigante. Claramente, el efecto químico puede sólo ser ejercido por soluciones químicamente activas (ej. NaOCl). Otro es el efecto mecánico que actúa provocando arrastre mecánico, separación y remoción de microorganismos/biofilm, remanente de tejido pulpar y restos de dentina desde el sistema de canales radiculares por fuerzas aplicadas por el flujo del irrigante. El efecto mecánico puede ser ejercido por irrigantes con actividad química e inertes (ej. Agua, solución salina)(Zehnder, 2006).

Los irrigantes pueden alcanzar los sitios inaccesibles, principalmente debido a la dinámica del flujo durante la liberación o durante la agitación; de esta manera, las partículas químicamente activas (molécula/ion) son transportadas rápida y eficientemente por el movimiento del fluido, proceso denominado convección. Además, mientras el irrigante fluye aplica fuerzas sobre el material dirigido, ejerciéndose así un efecto mecánico (Trusquey *et al.*, 2009).

Por el contrario, en áreas de los conductos radiculares donde no puede crearse el flujo, el irrigante puede ser transportado por difusión, que es el movimiento aleatorio de las partículas en el fluido. Este proceso es más lento que la convección y la velocidad es

afectada por el tamaño de las partículas, la temperatura y el gradiente de concentración y además la difusión no ejerce ningún efecto mecánico (Boutsioukis *et al.*, 2010).

La liberación del irrigante mediante jeringa y aguja durante el tratamiento endodóntico data de más de cien años. A pesar de su larga historia y el desarrollo de nuevos y más sofisticados sistemas de irrigación, su uso es aún recomendado.

Se ha abogado por la irrigación convencional con jeringas como un método eficiente antes de la aparición de la activación ultrasónica pasiva. Esta técnica sigue siendo ampliamente aceptada tanto por los odontólogos generales como por los endodoncistas y consiste en la dosificación de un irrigante en un conducto a través de agujas/cánulas de medidores variables, ya sea pasivamente o con agitación (Gu *et al.*, 2009).

Las jeringas de plástico de diferentes tamaños (1 a 20 ml) se utilizan comúnmente para irrigación y aunque las de gran volumen potencialmente permiten algunos ahorros de tiempo, son más difíciles de controlar la presión y pueden ocurrir accidentes por extravasación de irrigante. Por lo tanto, para maximizar la seguridad y el control, se recomienda el uso de jeringas de 1 a 5 ml. Todas las jeringas para irrigación endodóntico deben tener un diseño Luer-Lok y debido a las reacciones químicas entre muchos irrigantes, deben utilizarse jeringas separadas para cada solución (Pasricha, Makkar and Gupta, 2015).

Por otra parte, varios tipos de agujas han sido usadas para la liberación de irrigantes dentro de los conductos radiculares, estas difieren principalmente en la presencia de una punta abierta o cerrada y una o más salidas y el tamaño de las agujas de irrigación están calibradas de acuerdo a las especificaciones ISO, sin embargo, el calibre no puede ser directamente comparado con el tamaño de los instrumentos (Pasricha, Makkar and Gupta, 2015).

Las agujas más pequeñas permiten la liberación del irrigante cerca del ápice y esto no está exento de problemas de seguridad, por ello, en los últimos años se han introducido varias modificaciones en su diseño para facilitar la eficacia y minimizar los riesgos de extrusión. Las puntas abiertas exprimen el extremo hacia el ápice y consecuentemente aumentan la presión apical dentro del conducto, por el contrario, las puntas de irrigación de

terminación cerrada son de ventilación lateral y crean así más presión sobre las paredes del conducto y mejoran la activación hidrodinámica del irrigante reduciendo la posibilidad de extrusión apical, además esto permite el reflujo del irrigante y hace que más residuos se desplacen coronalmente, evitando al mismo tiempo la extrusión inadvertida del irrigante en los tejidos periapicales. Una de las ventajas de la irrigación con jeringa es que permite un control comparativamente fácil de la profundidad de penetración de la aguja dentro del canal y el volumen de irrigante que se descarga a través de ella (Pasricha, Makkar and Gupta, 2015).

Mientras se presiona el émbolo, la presión dentro de la jeringa permanece considerablemente más alta que la presión ambiental alrededor de la punta de la aguja (la cual es casi atmosférica), esta diferencia de presión dirige el irrigante a través de la aguja hacia el canal radicular denominándose técnica por presión positiva. La velocidad del flujo del irrigante es proporcional a esta diferencia, pero también es afectada por el tamaño de la aguja y otros parámetros. Así, para la misma diferencia de presión, la velocidad del flujo a través de una aguja pequeña será mucho menor que a través de una aguja grande, en otras palabras, se requiere una diferencia de presión más grande para la misma velocidad del flujo a través de una aguja pequeña (Brunson *et al.*, 2010).

La irrigación por presión positiva está asociada a dos inconvenientes: riesgo de extrusión e incapacidad de irrigar la región apical, esto último se cree que es debido a la formación de burbujas de aire dentro del canal, bloqueando la penetración del irrigante, un fenómeno conocido como vapour lock. Este problema puede ser minimizado usando la técnica de permeabilidad o irrigación por presión negativa o también a través de un método simple para interrumpir el bloqueo de vapor podría lograrse a través del uso de un material de relleno radicular bien ajustado activado a mano (por ejemplo, un cono de gutapercha tamaño 40/.06) que se introduce a la longitud de trabajo después de la instrumentación rotatoria correspondiente (es decir, tamaño 40/.06 cónico). Este método, aunque engorroso, elimina la burbuja de vapor porque el espacio de aire ocupado previamente se sustituye por el material de relleno radicular. (Darcey *et al.*, 2016) (Pasricha, Makkar and Gupta, 2015).

El diseño de la punta y el tamaño de la aguja pueden tener un impacto significativo en el patrón de flujo de irrigación, la velocidad, la profundidad de penetración y la presión sobre las paredes y el vértice del canal de la misma. La medida de la punta de irrigación determinará en gran medida la profundidad con la que un irrigador puede penetrar en el canal. Una punta de calibre 21 puede alcanzar el ápice de un canal ISO de tamaño 80, la punta de calibre 23 puede alcanzar un tamaño 50 y una punta de calibre 30 puede alcanzar el ápice de un canal tamaño 25. La aguja de calibre 27 es el tamaño preferido para procedimiento endodónticos rutinarios. Varios estudios han demostrado que la solución irrigante solo tiene un efecto limitado más allá de la punta de la aguja debido a la zona de agua muerta o a veces burbujas de aire en el conducto radicular a nivel apical, impidiendo la penetración de la solución (Pasricha, Makkar and Gupta, 2015).

Desde hace décadas, una de las técnicas básicas de activación es la agitación dinámica manual. Ésta puede ser realizada con limas manuales, cepillos o cono de gutapercha adaptado con movimientos hacia arriba y abajo del espacio del conducto mientras se libera el irrigante. Hay que tener cuenta que la activación dinámica manual comienza tempranamente durante la preparación del canal cuando la primera lima exploradora es ubicada dentro del mismo y su progresión mueve el irrigante más allá de la punta y una vez que la longitud de trabajo ha sido conseguida, el movimiento recíprocante vertical usado permite a la solución involucrar todo el espacio del canal (Vera *et al.*, 2012).

Obviamente, es este estadio del procedimiento la cantidad de irrigante es pequeña, durante la conformación del canal, el uso repetido de la lima de permeabilidad después de cada instrumento, ayuda a romper las burbujas de gas y mueve el irrigante fresco en apical mezclándolo con la solución estancada de la “zona muerta”(Gao *et al.*, 2009).

Después que el conducto ha sido conformado, es llenado con el irrigante y un cono maestro de gutapercha es insertado, y luego se bombea hacia arriba y abajo con movimientos rápidos de 3 mm. Esto puede superar el vapour lock y facilita el recambio del irrigante cerca de la longitud de trabajo final, mientras que al mismo tiempo desinfecta el cono de gutapercha previo a la cementación (Darcey *et al.*, 2016).

La agitación dinámica manual es aún una manera de ayudar al irrigante estar en contacto con las paredes del conducto, alcanzar la porción apical del mismo y desalojar el efecto vapour lock. Genera altos cambios de presión intracanal durante el movimiento de entrada y salida del cono y la alta frecuencia de los golpes crea turbulencias y mejora la difusión, además posee la ventaja de no corte de las paredes, por lo tanto, no hay riesgo de generar nuevo smear layer o transportación externa del foramen. La presencia de un espacio delgado entre el cono y las paredes del canal es crítica para permitir el reflujo del irrigante e induce un efecto hidrodinámico efectivo (Andrabi *et al.*, 2014).

Un cambio significativo en los procedimientos de irrigación se produjo con la incorporación de dispositivos para la irrigación sónica y ultrasónica. Los dispositivos sónicos para la agitación del irrigante oscilan a una frecuencia de 20- 20.000 Hz, uno de los sistemas disponible con esta tecnología es el EndoActivador (Dentsply Tulsa Dental Specialties, USA) que es una pieza de mano que opera con baterías, posee un motor con tres velocidades y dispone de tres puntas poliméricas de diferentes tamaños (15/.02, S5/.04, 35/.04), estas puntas agitan la solución irrigante ubicada dentro del conducto previamente llevada con jeringa y aguja. Esta técnica mejora la limpieza comparada con la técnica convencional, pero es inferior a la IUP en remover el smear layer (Darcey *et al.*, 2016).

Los dispositivos ultrasónicos fueron introducidos en endodoncia por Richman en 1957. Las limas activadas por ultrasonido tienen el potencial de preparar y desbridar los conductos mecánicamente, son manejadas por oscilación a frecuencias ultrasónicas de 25-30 kHz que está más allá del límite del oído humano. Las limas operan en vibración transversa estableciendo un patrón característico de nodos y antinodos a través de su longitud. Desafortunadamente, esto demostró la dificultad de controlar el corte de la dentina durante la preparación ultrasónica, y como resultado es imposible controlar la forma de la preparación del conducto y perforaciones apicales (Van Der Sluis *et al.*, 2007). Por otro lado, se ha demostrado que las limas activadas ultrasónicamente son efectivas para la irrigación de los conductos. En la literatura se han descrito dos tipos de irrigación ultrasónica, donde una es combinada con instrumentación ultrasónica simultánea y otra

sin instrumentación simultánea, llamada irrigación ultrasónica pasiva (Van Der Sluis *et al.*, 2007).

La irrigación ultrasónica pasiva (IUP), fue descrita por Weller *et al.* (1980), el término “pasivo” no es una descripción adecuada para el proceso, de hecho, es activo; el término “pasivo” se refiere a la acción de “no corte” de las limas activadas ultrasónicamente. IUP se basa en la transmisión de energía acústica desde una lima oscilante o alambre liso al irrigante dentro del conducto. La energía es transmitida por medio de ondas ultrasónicas y puede inducir transmisión acústica y cavitación del irrigante.

El ultrasonido es una vibración u onda acústica de la misma naturaleza que el sonido pero a una frecuencia más alta que la percibida por el oído humano (aproximadamente 20.000 Hz) (Mozo, Llena and Forner, 2012).

Un dispositivo ultrasónico convierte energía eléctrica en ondas ultrasónicas de una cierta frecuencia por magnetoestricción o por piezoelectricidad. La magnetoestricción es generada por la deformación de un material ferromagnético sujeto a un campo magnético; la piezoelectricidad es la generación de estrés en cristales dieléctricos sujeto a la aplicación de un voltaje (Van Der Sluis *et al.*, 2007).

El generador magnetostrictivo utiliza el principio de magnetoestricción en el cual ciertos materiales se expanden y contraen cuando se coloca en un campo magnético alterno. La corriente eléctrica alterna desde el generador ultrasónico es convertida primero en un campo magnético alterno a través del uso de una bobina de alambre dentro de la pieza de mano ultrasónica que luego es usado para inducir vibraciones mecánicas a una frecuencia ultrasónica en bandas resonantes de nickel u otro material magnetostrictivo que están unidos a la superficie para ser vibrados (Van Der Sluis *et al.*, 2007).

Debido a que los materiales magnetostrictivos se comportan idénticamente a un campo magnético de cualquier polaridad, la frecuencia de la energía eléctrica aplicada al transductor (alambre enrollado) es la mitad de la frecuencia de salida deseada. Esta forma de generador ultrasónico requiere dos transformaciones de energía: eléctrica a magnética y magnética a mecánica. Durante esta transformación de energías, se genera calor,

afectando la eficacia de este tipo de generador y requiriendo medidas de enfriamiento para disiparlo (Van Der Sluis *et al.*, 2007).

Este generador opera de 18 a 25 KHz y crea figuras de ocho (movimiento elíptico) lo cual no es ideal para endodoncia (Mozo, Llena and Forner, 2012).

El generador piezoeléctrico, convierte energía eléctrica directamente a energía mecánica. Cuando la energía eléctrica es aplicada a un material cerámico piezoeléctrico (titanato de bario o titanato de zirconio de plomo) hay una conversión y amplificación de la energía eléctrica a energía mecánica por medio de la vibración del material dentro de la pieza de mano ultrasónica que es directamente transmitida a la punta ultrasónica.

Asimismo, las unidades piezoeléctricas tienen algunas ventajas sobre las unidades magnetostrictivas, como que producen más ciclos por segundo, 40 frente a 24 KHz, las puntas de esta unidad trabajan en un movimiento lineal de adelante hacia atrás como un pistón, el cual es ideal para tratamientos endodónticos y no generan calor (Mozo, Llena and Forner, 2012).

Una de las ventajas más importantes de las puntas ultrasónicas es que no rotan, por lo tanto, dan seguridad y control mientras mantienen alta eficacia de corte.

Se producen nodos y antinodos a través de la longitud de una lima endosónica activada a 30 kHz por lo que la amplitud de desplazamiento de la lima no aumenta linealmente con un aumento de poder del generador, estos hallazgos aplican en particular cuando canales ocultos son permeabilizados o cuando postes o instrumentos fracturados son retirados (Mozo, Llena and Forner, 2012).

La interacción de la energía ultrasónica y los irrigantes es un sistema sinérgico, logrando activar sus efectos químico-biológico cuando están bajo su acción.

El efecto primario del ultrasonido es definido como cavitación (estable y transitoria) y transmisión acústica. La cavitación transitoria ocurre cuando la energía ultrasónica crea una burbuja la cual crece hasta cierto punto y luego colapsa violentamente produciendo altas temperaturas y presión dentro del gas aún contenido en el líquido, lo que resulta en generación de radicales libres y ondas de choque radiales creando un efecto de vórtice el cual limpia irregularidades en los conductos y mata microorganismos. La energía en el

punto del colapso es suficiente para disociar las moléculas de gas en la burbuja lo cual produce luz, proceso llamado sonoluminiscencia. El efecto oscilatorio del instrumento ultrasónico, el cual agita vigorosamente la solución irrigante, forma burbujas las cuales oscilan en tamaño, pero no estallan, es definida como cavitación resonante o estable. Por otro lado, la corriente acústica puede ser definida como un movimiento rápido de fluidos en una forma circular o vórtice alrededor de la lima vibrando (Mozo, Llena and Forner, 2012) (Ahmad, Pitt Ford and Crum, 1987).

La IUP ha demostrado ser capaz de eliminar detritus, smear layer, mejorar la capacidad del NaOCL en disolver restos orgánicos y asociado al EDTA mejora la limpieza de los conductos después de la preparación, El uso de estas combinaciones mejora el intercambio de sustancias en el canal, permite calentar el irrigante, eliminar detritus dentinarios logrando crear un gran efecto de limpieza, útil en áreas anatómicas difíciles y su efectividad está directamente asociada con el irrigante usado combinado con la vibración ultrasónica el cual genera movimiento continuo del mismo (Van Der Sluis *et al.*, 2007).

Las limas activadas pasivamente con energía ultrasónica, produce una limpieza significativa de los conductos en comparación con la instrumentación solo manual, también es efectiva cuando toca el mango de la lima insertada en el conducto, la cual transmite la vibración al irrigante, pero hay un gran riesgo de tocar y deformar las paredes. El uso de agitación ultrasónica aumenta la efectividad del NaOCL al 5,25% en las paredes del conducto en el tercio apical. La irrigación ultrasónica pasiva con una punta de nickel-titanio tiene efectos de disolución de tejido superior comparado con la activación sónica del irrigante (Kandaswamy D y Venkateshabu N 2010).

Su uso en canales estrechos o curvos restringe su movimiento vibratorio libre y posiblemente también su eficacia, por lo tanto. en conductos con diámetros pequeños, la solución irrigante tiene la dificultad de alcanzar el ápice y menos influencia tiene la IUP. Es importante la aplicación del ultrasonido sea en conductos completamente preparados para la libre oscilación del instrumento y su efecto sea mayor que una oscilación forzada contra las paredes.

Dos métodos de lavado pueden ser usados durante la IUP, flujo continuo e intermitente, el flujo continuo dispone de un suministro ininterrumpido de solución irrigante fresca en los conductos, proporcionando resultados más efectivos y reduciendo el tiempo requerido para la irrigación, esto es debido al hecho de que el cloro es inestable y rápidamente consumido durante la primer parte de la disolución de tejidos, probablemente dentro de los 2 min., por otra parte, en la técnica de flujo intermitente, el irrigante es inyectado al conducto mediante una jeringa y luego activado con el instrumento ultrasónico. La cantidad de irrigante en la región apical puede ser controlado por la profundidad de penetración de la aguja, este grado de control no es posible con la técnica de flujo continuo. Ambos métodos probaron ser igualmente efectivos en remover detritus dentinario en modelo ex vivo cuando el tiempo de irrigación fue de 3 min. (Van Der Sluis *et al.*, 2007).

Los productos disponibles que el clínico puede utilizar para IUP incluyen puntas de soporte que permiten la inserción de limas de mano como limas tipo K, espaciadores o insertos especialmente diseñados (diamantados, estriados, lisos, etc.)

Por otra parte, existe otro sistema denominado SAF que combina instrumentación continua e irrigación. Es un instrumento que se adapta por sí mismo a la forma del canal, remueve la dentina de manera uniforme en contraposición a las limas rotatorias las cuales remueven excesivamente dentina intentando incluir todo el canal dentro de la preparación. Combinada con una irrigación efectiva, esto permite un nuevo concepto de endodoncia mínimamente invasiva (De-Deus *et al.*, 2011).

El sistema SAF consiste en una lima autoajustable que opera con una pieza de mano y una bomba de irrigación que libera un flujo continuo de irrigante a través de la lima hueca, la cual no tiene un núcleo metálico sólido, es un tubo hueco de nickel titanio con una punta posicionada asimétricamente. Está provisto de un eje de rotación libre conectado a un tubo de propileno, permitiendo al irrigante fluir a través de la lima hueca dentro del conducto El reservorio del irrigante tiene una capacidad de 500 ml y es alimentado por una batería recargable. Tiene un flujo ajustable de 1-10 ml/min. (Van Der Sluis *et al.*, 2007).

Este sistema es definido como un sistema de irrigación sin presión que es aplicada a través del proceso de instrumentación. Una vez que el irrigante entra al SAF, no debe existir ninguna presión en el tubo debido a la estructura enrejada de la lima. El irrigante es liberado continuamente dentro del canal y las vibraciones de la lima, combinado con el movimiento de picoteo aplicado por el operador resulta en una mezcla continua del irrigante presente en el conducto con el irrigante fresco.

El protocolo SAF requiere glide path que permita a la lima alcanzar la longitud de trabajo, luego es usado por 4 min con movimientos de picoteo con simultáneo y continuo flujo de NaOCL fresco. Esto explicaría la limpieza efectiva de la parte apical del canal, huecos y aletas (De-Deus *et al.*, 2011).

Cuando usamos el sistema SAF con EDTA, este puede ser aplicado con jeringa y aguja y luego agitado por 30 seg. con la lima en forma de bombeo.

Hace unos años, además de los sistemas de irrigación por presión positiva surgieron sistemas de irrigación por presión negativa en los cuales un volumen cerrado tiene una presión menor que su entorno, limitando así las posibilidades de extrusión de las soluciones irrigantes.

Uno de ellos, involucra el uso de una cánula de liberación del irrigante combinado con un sistema de microsucción (EndoVac, SybronEndo, Orange, CA). La cánula de aspiración extrae el irrigante dentro del conducto creando una presión negativa, provocando un continuo recambio del irrigante y reduciendo el riesgo de extrusión. Pero esto no está exento de limitaciones, ya que requiere de preparaciones apicales por encima de ISO 40 para permitir la introducción de ambas cánulas (lo que no es posible en canales curvos), las cánulas pueden bloquearse con detritus y se debe crear una preparación coronal que permita la adaptación del sistema (Darcey *et al.*, 2016).

Recientemente, ha sido introducido en el mercado el sistema de ultralimpieza multisónica que utiliza múltiples ondas sónicas para facilitar la irrigación. El mismo es comercializado como Gentle Wave (Sonendo, California USA), opera con una pieza de mano que es ubicada en la cámara pulpar sellando al diente de la cavidad oral y es activado desde una computadora. Se liberan 45 ml. del irrigante a 40° C en forma de spray hacia el conducto

y un sistema de aspiración interna lo remueve coronalmente. Estudios *in vitro* mostraron alta velocidad en disolución de tejidos con diferentes concentraciones de NaOCL y agua (Darcey *et al.*, 2016).

En suma, y por todo lo anteriormente expuesto, el objetivo que se ha propuesto para el presente trabajo es profundizar en el estudio tanto de las diferentes soluciones irrigantes como de las variadas técnicas de irrigación vigentes en la actualidad, utilizados para optimizar los procedimientos de limpieza y desinfección en los tratamientos endodónticos.

CASO CLÍNICO

Se presentó a la consulta en la Carrera de Especialidad de Endodoncia de la Facultad de Odontología de la Universidad Nacional de Cuyo un paciente de sexo masculino de 22 años de edad, que provenía derivado desde un centro de salud. Allí había recibido atención profesional donde fue diagnosticado con Absceso Fénix en el elemento dentario 15. En esta instancia, como procedimiento y manejo de la urgencia, se le había realizado la apertura cameral de la pieza dental, lavajes y la posterior colocación de una obturación provisoria. Además, como terapia antibiótica y antiinflamatoria por vía oral, había sido medicado con amoxicilina 875 mg. - ácido clavulánico 125 mg cada 12 horas durante 7 días y ketorolac 10 mg. sublingual cada 6 horas durante 3 días.

En la primera cita en la Especialidad de Endodoncia se realizó Historia Clínica completa, no registrándose en la anamnesis general antecedentes sistémicos relevantes. En el examen clínico intraoral se observó en los tejidos blandos la presencia de un trayecto sinusal por vestibular del elemento 15 y en cuanto a los tejidos duros dentales se observó gran destrucción coronaria con presencia de material de obturación provisoria.

Posteriormente, se procedió a realizar la toma radiografía periapical preoperatoria utilizando placas Kodak E Speed (Carestream Health, Inc, USA), en la que se observó una zona de radiolucidez periapical de 5 mm aproximadamente compatible con absceso apical crónico (Fig. 1).

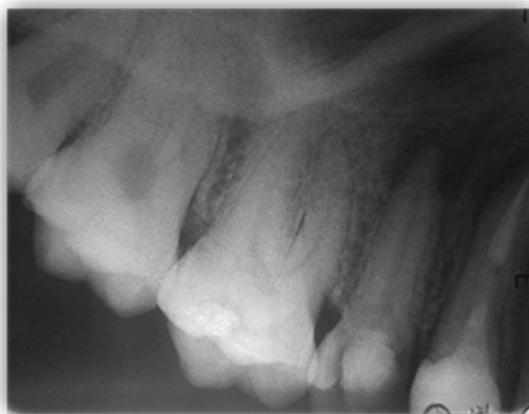


Fig. 1 Radiografía preoperatoria

Luego de establecido un plan de tratamiento, se procedió a anestésiar al paciente con solución inyectable de clorhidrato de carticaína al 4 % - L Adrenalina 1:100.000. (Anescart 4 % Sidus SA, Argentina) utilizando la técnica infiltrativa. A continuación, se retiró la obturación con fresa esférica N°4 Option (Poul Sorensen, Brasil) a alta velocidad con irrigación continua, y luego de la colocación del aislamiento absoluto del elemento con arco de Young, dique de goma Dental dam (Sanctuary Health Son BHD, Malasia) y clamp N° 2 Hygenic (The Hygenic Corporation, USA), se realizó una primera irrigación con jeringa tipo luer lock de 5 cc y aguja de irrigación de 30 G (Tedequim, Argentina) utilizando solución de Hipoclorito de Sodio al 5,25 % como irrigante.

Luego de explorar los conductos radiculares con lima tipo K N° 10 Nic (Shenzhen Super Line Technology Co. Ltd. China), se rectificó el acceso con fresas Gates Glidden N° 1 y 2 (Dentsply- Maillefer, USA) en la entrada de los mismos con movimientos in out para darles forma infundibuliforme, a los 3 mm y 2 mm respectivamente.

Posteriormente, mediante cateterismo del conducto con lima K N° 10 se accedió al tercio apical y se procedió al registro de la longitud de trabajo con localizador apical Propex (Dentsply- Maillefer, USA) lográndose la permeabilidad y alcanzando un registro de 0.0

en el mismo (Fig. 2). La conformación del conducto se realizó con instrumentos de níquel titanio del sistema mecanizado I Race (FKG Dentaire, Suiza) que posee limas N° 15/.06, 25/.04 y 30/.04, utilizando un motor VDW, Silver (Alemania) con movimiento de rotación continua a una velocidad de 600 rpm (Fig. 3). La irrigación simultánea se efectuó con solución de NaOCL al 5,25% en forma convencional sin activación. Una vez finalizada la conformación, la irrigación final se realizó con 3ml de EDTA al 17% para lograr la eliminación del barro dentinario y 5ml de solución fisiológica, para luego proceder a la aspiración y secado del conducto con puntas de papel estériles (Meta Biomed Co. Ltd, Corea).



Fig. 2 Localizador apical. Tomado de <http://www.dentsplymaillefer.com>.

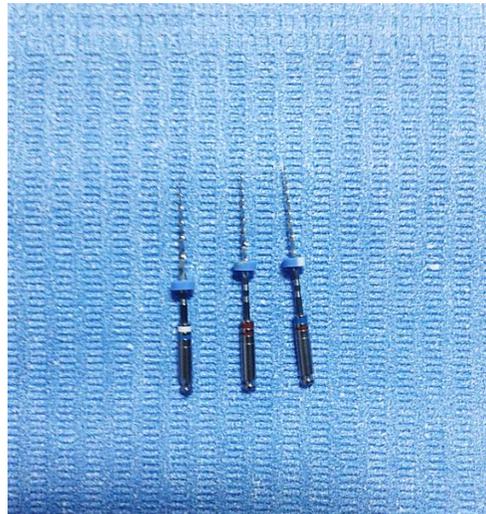


Fig. 3 Sistema I Race

Luego se llevó al conducto un cono de gutapercha 30/.04 Dia Dent (Dia Dent Group, Corea) coincidente con el último instrumento utilizado, logrando la adaptación del mismo en el conducto en diámetro y longitud.

Sin embargo, al realizar la conometría se constató que el cono apical maestro no presentaba una adaptación aceptable a pesar de alcanzar la longitud de trabajo al igual que el último instrumento utilizado, situación causada presumiblemente por la presencia de restos de smear layer o barrillo dentinario (Fig. 4).



Fig. 4 Conometría

Debido a esto, se decidió llevar a cabo un protocolo de irrigación complementaria con activación del irrigante mediante la IUP utilizando un dispositivo de ultrasonido piezoeléctrico modelo Woodpecker (China) con una punta ultrasónica E5T Woodpecker (China), (Fig. 5). La irrigación se inició con 5 ml de NaOCL al 5,25 % llevado con jeringa Luer Lock Tedequim (Argentina) y aguja 30 G punta roma Tedequim (Argentina) luego se colocó la punta ultrasónica a 1 mm antes de la longitud de trabajo activándola por dos ciclos de 30 segundos y renovando el irrigante entre los mismos (Fig. 6). Luego se irrigó el conducto con suero fisiológico para evitar la interacción de los dos irrigantes y se depositó EDTA al 17 % (Fig. 7) procediendo del mismo modo que con el NaOCL

(Fig. 8). Una vez realizado el último lavaje con suero fisiológico, se aspiró y secó el conducto con conos de papel , se constató que el cono maestro llegue a la longitud de trabajo y se obturó con conos de gutapercha con la técnica de condensación lateral, utilizando espaciadores ABCD (Dentsply Maillefer, USA) y cemento Sealer 26 (Dentsply, USA), el corte de la gutapercha se realizó con instrumento Peter Thomas y se colocó Ionómero Vítreo Densell (Dental Medrano, Argentina) como material de obturación provisorio.



Fig 5 Punta ultrasónica



Fig. 6 Colocación del irrigante.



Fig 7 EDTA al 17%



Fig. 8 Activación Ultrasónica Pasiva

Una vez finalizado el tratamiento endodóntico, se procedió a la toma radiográfica final evidenciándose que la obturación alcanzó la longitud de trabajo previamente determinada debido a la acción del ultrasonido sobre el inserto lo que genera la agitación de los irrigantes aumentando su actividad química, mecánica y biológica, logrando así la eliminación de los detritus dentinarios generados durante la instrumentación mecánica (Fig. 9).



Fig 9 Radiografía final

DISCUSIÓN

En referencia a las soluciones irrigantes utilizadas mundialmente y a sus concentraciones, tanto Siqueira *et al.* (2000), Clegg *et al.* (2006) y Estrela *et al.* (2002) reportaron que sólo el NaOCL al 6% puede disolver tejido orgánico, remover el biofilm artificial y eliminar bacterias más eficientemente que en bajas concentraciones donde las bacterias pueden permanecer viables. Esto puede ser contrarrestado con el recambio continuo o el aumento de tiempo de exposición de la solución. Esto último fundamenta la utilización del mismo al 5.25%, acentuando el recambio constante y el tiempo de exposición de la solución durante el tratamiento endodóntico desarrollado en este trabajo.

Igualmente, es importante realizar una última irrigación con soluciones quelantes para la eliminación del smear layer luego de la instrumentación con sistemas mecanizados. En relación a esto, algunos autores como Gulabivala *et al.* (2010) sostienen que el ácido cítrico en concentraciones que van de del 1 al 10% produce una descalcificación más eficiente que el EDTA al 17%. Por otro lado, Torabinejad *et al.* (2003) informaron una significativa erosión después de la irrigación con EDTA., demostrando que la secuencia a la cual las paredes del conducto son expuestas al NaOCL y al EDTA tiene un impacto en el nivel de erosión de la dentina, más aún en la repetición de ciclos de irrigación. En nuestra práctica cotidiana y coincidiendo con muchos autores, con la combinación de NaOCL al 5,25% en las diferentes etapas del tratamiento y EDTA al 17% como irrigante final, se logra una óptima limpieza y desinfección de los conductos, comprobándose luego en los controles posteriores, en primer lugar, por la ausencia de sintomatología y posteriormente, por la reparación de las lesiones periapicales preexistentes, al mismo tiempo que se minimiza el efecto erosivo sobre la dentina.

Por otra parte, según Basrani *et al.* (2007), la clorhexidina es considerada en endodoncia por ser un eficiente antibacteriano al 2% de concentración, aunque no puede remover tejido orgánico como el NaOCL, por lo que no lo puede sustituir; por otro lado, estudios publicados por Siqueira *et al.* (2007) no revelan diferencias significativas entre el NaOCL al 2,5% y la CHX al 0,12% cuando se los utilizó como irrigantes en conductos infectados.

Estos resultados sugieren que si la CXH es utilizada como irrigante endodóntico, agentes adicionales son necesarios para la disrupción física del biofilm (Clegg *et al.*, 2006), razón por la cual se priorizó la utilización del NaOCl en el caso clínico del presente trabajo.

Hay un consenso general de que IUP es más efectiva que la irrigación convencional con aguja y jeringa en la eliminación de tejido pulpar y detritus dentinario debido al hecho de que el ultrasonido crea una mayor velocidad y volumen de flujo del irrigante contra las paredes del conducto, de este modo elimina más detritus produciendo menos empaquetamiento apical y mejora el acceso de los productos químicos en los canales accesorios, en comparación con la irrigación manual (Mozo, Llena and Forner, 2012), (Vivan *et al.*, 2016), (Lee *et al.*, 2004) y (Van Der Sluis, Wu and Wesselink, 2005).

En términos de penetración del irrigante, varios estudios como los de Metzler y Montgomery, (1989), Haidet *et al.* (1989) y más recientemente De Gregorio *et al.* (2009) y Al-Jadaa *et al.* (2009) mostraron la habilidad de IUP para mejorar la penetración y dispersión de los irrigante dentro de los canales laterales, limpiando profundamente istmos y canales ovaes comparado con la utilización de jeringa y aguja.

Como se demostró en el caso clínico, el uso de IUP logro el completo desbridamiento del conducto, eliminando el smear layer post instrumentación mecánica que había quedado obliterando la porción apical del mismo dando como resultado la completa limpieza, desinfección y obturación hasta la longitud de trabajo.

En cuanto al tipo y concentración del irrigante asociado a la IUP en la eliminación del smear layer, hay numerosos estudios que reportan la eficacia del NaOCL en concentraciones que van de 0,5 al 12 % y con diferente tiempo de exposición a la energía ultrasónica (10 seg. a 5 min.)

En un estudio de Cameron (1983) reportó la remoción completa del smear layer utilizando NaOCL al 3 % con IUP de 3 a 5 min, lo mismo pudo lograr AlaÇam (1987) pero utilizando el NaOCL al 5 % con 3 min. de IUP y Huque *et al.*(2002) después de 12 min de IUP con NaOCL al 12 %. En general, la literatura recomienda períodos de 30 seg. a 3 min., a pesar de que no hay un consenso definido sobre la duración exacta de tiempo. Períodos de

irrigación pasiva más cortos hacen más fácil mantener la lima centrada en el conducto (Munley and Goodell, 2007).

Cuando el NaOCL fue combinado con EDTA, las investigaciones mostraron un marcado resultado en la remoción del smear layer (Andrabi *et al.*, 2014),(Goel and Tewari, 2009) (Kuah *et al.*, 2009), sin embargo también hay estudios donde no se encontró que la IUP fuera muy efectiva incluso utilizando NaOCL con EDTA (Abbott *et al.*, 1991), (Saber and Hashem, 2011). El uso de NaOCL al 5,25% seguido por un quelante como EDTA al 17 % en dos ciclos de 30 seg. cada uno, logró la remoción completa del smear layer como quedó demostrado en el caso clínico, logrando disolver y eliminar tanto la porción orgánica como inorgánica del mismo.

Con respecto a la seguridad, Malki *et al.*(2012) evaluaron el potencial de riesgo de extrusión de detritus e irrigante durante el uso de IUP y reportó un movimiento de fluido que se extendió 3 mm más allá de la punta de la lima ultrasónica, mientras que Mitchell, Baumgartner and Sedgley (2011) , reportaron que se produjo más extrusión del irrigante y de detritus a través del ápice cuando se utilizó IUP en comparación con la irrigación convencional de jeringa y aguja. Por otra parte, Tasdemir *et al.* (2008) refirieron menos extrusión apical de irrigantes cuando se lo comparó con la jeringa y aguja y Malentacca *et al.* (2012) reportaron la ausencia de extrusión de irrigante durante la IUP cuando la lima se mantuvo de 3 a 5 mm del ápice; sin embargo, la extrusión puede ocurrir cuando la lima se ubica a 1 mm del ápice.

En concordancia con los autores que evaluaron los beneficios de la IUP y como se observa en la resolución del caso clínico, queda demostrado que la utilización de la IUP después de la conformación mecánica final del conducto aporta beneficios ya que potencia la acción de los irrigantes por sinergismo, además de la acción mecánica provocada por el efecto de cavitación y microcorriente acústica logrando llegar a zonas anatómicas anfractuosas.

CONCLUSIONES

Los procedimientos de limpieza y desinfección llevados a cabo durante la preparación quirúrgica radicular en forma simultánea a la conformación permiten alcanzar una alta tasa de éxito en los tratamientos endodónticos.

La utilización de soluciones irrigantes de naturaleza química diferente, tales como el NaOCL al 5.25% , agente degradante de tejido orgánico y al mismo tiempo bactericida, dispensado con jeringas y agujas acordes en calibre, en volúmenes suficientes, con recambio constante durante toda la preparación mecánica del conducto, seguido por un agente quelante como el EDTA al 17% que asegure la remoción del smear layer, permiten cumplimentar con los objetivos del procedimiento de irrigación en endodoncia.

La posibilidad de optimizar la calidad de limpieza con mecanismos de activación y agitación de los irrigantes, como la IUP durante la irrigación complementaria final, garantiza consecuentemente la acción de las soluciones en zonas más inaccesibles del sistema de conductos radiculares, eliminando en éstas con mayor eficiencia, el smear layer, microorganismos y el biofilm adheridos a las paredes de dentina.

En suma, el rol fundamental que tienen los irrigantes por su acción mecánica, química y biológica en todas las tipologías de conductos, más aún en los de anatomía compleja, puede ser potenciado por la acción de diferentes dispositivos para lograr mejores niveles de limpieza, siendo actualmente los aparatos de ultrasonido un recurso accesible y eficaz en endodoncia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abbott, P. V. *et al.* (1991) 'An SEM study of the effects of different irrigation sequences and ultrasonics', *International Endodontic Journal*, 24(6), pp. 308–316. doi: 10.1111/j.1365-2591.1991.tb00141.x.

Ahmad, M., Pitt Ford, T. R. and Crum, L. A. (1987) 'Ultrasonic debridement of root canals: An insight into the mechanisms involved', *Journal of Endodontics*, 13(3), pp. 93–101. doi: 10.1016/S0099-2399(87)80173-5.

Al-Jadaa, A. *et al.* (2009) 'Acoustic Hypochlorite Activation in Simulated Curved Canals', *Journal of Endodontics*. Elsevier Ltd, 35(10), pp. 1408–1411. doi: 10.1016/j.joen.2009.07.007.

Andrabi, S. M. ukhta. U. N. *et al.* (2014) 'Effect of passive ultrasonic irrigation and manual dynamic irrigation on smear layer removal from root canals in a closed apex in vitro model', *Journal of investigative and clinical dentistry*, 5(3), pp. 188–193. doi: 10.1111/jicd.12033.

Boutsioukis, C. *et al.* (2010) 'Irrigant flow in the root canal: Experimental validation of an unsteady Computational Fluid Dynamics model using high-speed imaging', *International Endodontic Journal*, 43(5), pp. 393–403. doi: 10.1111/j.1365-2591.2010.01692.x.

Brunson, M. *et al.* (2010) 'Effect of Apical Preparation Size and Preparation Taper on Irrigant Volume Delivered by Using Negative Pressure Irrigation System', *Journal of Endodontics*. Elsevier Ltd, 36(4), pp. 721–724. doi: 10.1016/j.joen.2009.11.028.

Clegg, M. S. *et al.* (2006) 'The Effect of Exposure to Irrigant Solutions on Apical Dentin Biofilms In Vitro', *Journal of Endodontics*, 32(5), pp. 434–437. doi: 10.1016/j.joen.2005.07.002.

Darcey, J. *et al.* (2016) 'Modern endodontic principles part 4: Irrigation', *Dental Update*, 43(1), pp. 20–33. doi: 10.12968/denu.2016.43.1.20.

De-Deus, G. *et al.* (2008) 'Longitudinal Co-site Optical Microscopy Study on the Chelating Ability of Etidronate and EDTA Using a Comparative Single-tooth Model', *Journal of Endodontics*, 34(1), pp. 71–75. doi: 10.1016/j.joen.2007.09.020.

De-Deus, G. *et al.* (2011) 'The self-adjusting file optimizes debridement quality in oval-shaped root canals', *Journal of Endodontics*. Elsevier Ltd, 37(5), pp. 701–705. doi:

10.1016/j.joen.2011.02.001.

Estrela, C. *et al.* (2002) 'Mechanism of action of sodium hypochlorite.', *Brazilian dental journal*, 13(2), pp. 113–117. doi: 10.1590/S0103-64402002000200007.

Gao, Y. *et al.* (2009) 'Development and Validation of a Three-dimensional Computational Fluid Dynamics Model of Root Canal Irrigation', *Journal of Endodontics*. Elsevier Ltd, 35(9), pp. 1282–1287. doi: 10.1016/j.joen.2009.06.018.

Goel, S. and Tewari, S. (2009) 'Smear layer removal with passive ultrasonic irrigation and the NaviTip FX: a scanning electron microscopic study', *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology*. Elsevier Inc., 108(3), pp. 465–470. doi: 10.1016/j.tripleo.2009.04.023.

Goodman, A. *et al.* (1985) 'An In Vitro Comparison of the Efficacy of the Step- back Technique Versus a Step-back / Ultrasonic Technique in Human Mandibular Molars Comparacion In Vitro de la Eficacia de la Tecnica Escalonada Versus la Tecnica Escalonada Ultrasonica en Molares Inferi', *Journal of Endodontics*, 11(6), pp. 249–256.

Gu, L. sha *et al.* (2009) 'Review of Contemporary Irrigant Agitation Techniques and Devices', *Journal of Endodontics*. Elsevier Ltd, 35(6), pp. 791–804. doi: 10.1016/j.joen.2009.03.010.

Gulabivala, K. *et al.* (2010) 'The fluid mechanics of root canal irrigation', *Physiological Measurement*, 31(12). doi: 10.1088/0967-3334/31/12/R01.

Haapasalo, M. *et al.* (2014) 'Irrigation in endodontics', *British Dental Journal*. Nature Publishing Group, 216(6), pp. 299–303. doi: 10.1038/sj.bdj.2014.204.

Hall-Stoodley, L. and Stoodley, P. (2009) 'Evolving concepts in biofilm infections', *Cellular Microbiology*, 11(7), pp. 1034–1043. doi: 10.1111/j.1462-5822.2009.01323.x.

Heard, F. and Walton, R. E. (1997) 'Scanning electron microscope study comparing four root canal preparation techniques in small curved canals', *International Endodontic Journal*, 30(5), pp. 323–331. doi: 10.1111/j.1365-2591.1997.tb00718.x.

Hosoya, N. *et al.* (2004) 'Effects of calcium hydroxide on physical and sealing properties of canal sealers', *International Endodontic Journal*, 37(3), pp. 178–184. doi: 10.1111/j.0143-2885.2004.00781.x.

Hülsmann, M., Heckendorff, M. and Lennon, Á. (2003) 'Chelating agents in root canal treatment: Mode of action and indications for their use', *International Endodontic Journal*, 36(12), pp. 810–830. doi: 10.1111/j.1365-2591.2003.00754.x.

Huque *et al.* (2002) 'Bacterial eradication from root dentine by ultrasonic irrigation with sodium hypochlorite', *International Endodontic Journal*, 31(4), pp. 242–250. doi: 10.1046/j.1365-2591.1998.00156.x.

Jensen, S. A. *et al.* (1999) 'Comparison of the cleaning efficacy of passive sonic activation and passive ultrasonic activation after hand instrumentation in molar root canals', *Journal of Endodontics*, 25(11), pp. 735–738. doi: 10.1016/S0099-2399(99)80120-4.

Kuah, H. G. *et al.* (2009) 'The Effect of EDTA with and without Ultrasonics on Removal of the Smear Layer', *Journal of Endodontics*. Elsevier Ltd, 35(3), pp. 393–396. doi: 10.1016/j.joen.2008.12.007.

Lee, Y. L. *et al.* (2009) 'An Extract of Green Tea, Epigallocatechin-3-Gallate, Reduces Periapical Lesions by Inhibiting Cysteine-rich 61 Expression in Osteoblasts', *Journal of Endodontics*. American Association of Endodontists, 35(2), pp. 206–211. doi: 10.1016/j.joen.2008.11.015.

Lev, R. *et al.* (1987) 'An in vitro comparison of the step-back technique versus a step-back/ultrasonic technique for 1 and 3 minutes', *Journal of Endodontics*, 13(11), pp. 523–530. doi: 10.1016/S0099-2399(87)80031-6.

Malki, M. *et al.* (2012) 'Irrigant flow beyond the insertion depth of an ultrasonically oscillating file in straight and curved root canals: Visualization and cleaning efficacy', *Journal of Endodontics*. Elsevier Ltd, 38(5), pp. 657–661. doi: 10.1016/j.joen.2012.02.001.

Metzler, R. S. and Montgomery, S. (1989) 'The effectiveness of ultrasonics and calcium hydroxide for the debridement of human mandibular molars', *Journal of Endodontics*, 15(8), pp. 373–378. doi: 10.1016/S0099-2399(89)80076-7.

Mitchell, R. P., Baumgartner, J. C. and Sedgley, C. M. (2011) 'Apical extrusion of sodium hypochlorite using different root canal irrigation systems', *Journal of Endodontics*. Elsevier Ltd, 37(12), pp. 1677–1681. doi: 10.1016/j.joen.2011.09.004.

Mohammadi, Z. *et al.* (2012) 'Substantivity of Three Concentrations of Tetraclean in Bovine Root

Dentin', *Chonnam Medical Journal*, 48(3), p. 155. doi: 10.4068/cmj.2012.48.3.155.

Mohammadi, Z. *et al.* (2015) 'Impact of ultrasonic activation on the effectiveness of sodium hypochlorite: A review', *Iranian Endodontic Journal*, 10(4), pp. 216–220. doi: 10.7508/iej.2015.04.001.

Mohammadi, Z. *et al.* (2017) 'Unusual root canal irrigation solutions', *Journal of Contemporary Dental Practice*, 18(5), pp. 415–420. doi: 10.5005/jp-journals-10024-2057.

Mohammadi, Z. and Abbott, P. V. (2009) 'The properties and applications of chlorhexidine in endodontics', *International Endodontic Journal*, 42(4), pp. 288–302. doi: 10.1111/j.1365-2591.2008.01540.x.

Moorer, W. R. and WESSELINK, P. R. (1982) 'Factors promoting the tissue dissolving capability of sodium hypochlorite', *International Endodontic Journal*, 15(4), pp. 187–196. doi: 10.1111/j.1365-2591.1982.tb01277.x.

Mozo, S., Llena, C. and Forner, L. (2012) 'Review of ultrasonic irrigation in endodontics: Increasing action of irrigating solutions', *Medicina Oral, Patologia Oral y Cirugia Bucal*, 17(3). doi: 10.4317/medoral.17621.

Munley, P. J. and Goodell, G. G. (2007) 'Comparison of Passive Ultrasonic Debridement Between Fluted and Nonfluted Instruments in Root Canals', *Journal of Endodontics*, 33(5), pp. 578–580. doi: 10.1016/j.joen.2007.01.009.

Murray, P. E. *et al.* (2008) 'Evaluation of *Morinda citrifolia* as an Endodontic Irrigant', *Journal of Endodontics*, 34(1), pp. 66–70. doi: 10.1016/j.joen.2007.09.016.

Nair, P. N. R. *et al.* (2005) 'Microbial status of apical root canal system of human mandibular first molars with primary apical periodontitis after "one-visit" endodontic treatment', *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology*, 99(2), pp. 231–252. doi: 10.1016/j.tripleo.2004.10.005.

Neuhaus, K. W. *et al.* (2016) 'Antibacterial Efficacy of a New Sonic Irrigation Device for Root Canal Disinfection', *Journal of Endodontics*. Elsevier Ltd, 42(12), pp. 1799–1803. doi: 10.1016/j.joen.2016.08.024.

Ng, Y. L., Mann, V. and Gulabivala, K. (2011) 'A prospective study of the factors affecting

outcomes of nonsurgical root canal treatment: Part 1: Periapical health', *International Endodontic Journal*, 44(7), pp. 583–609. doi: 10.1111/j.1365-2591.2011.01872.x.

Ohl, C. D. *et al.* (2006) 'Sonoporation from jetting cavitation bubbles', *Biophysical Journal*. Elsevier, 91(11), pp. 4285–4295. doi: 10.1529/biophysj.105.075366.

Pasricha, S. K., Makkar, S. and Gupta, P. (2015) 'Pressure alteration techniques in endodontics-a review of literature', *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 9(3), pp. ZE01–ZE06. doi: 10.7860/JCDR/2015/9249.5613.

Prabhakar, J. *et al.* (2010) 'Evaluation of Antimicrobial Efficacy of Herbal Alternatives (Triphala and Green Tea Polyphenols), MTAD, and 5% Sodium Hypochlorite against *Enterococcus faecalis* Biofilm Formed on Tooth Substrate: An In Vitro Study', *Journal of Endodontics*. Elsevier Ltd, 36(1), pp. 83–86. doi: 10.1016/j.joen.2009.09.040.

Rasimick, B. J. *et al.* (2008) 'Interaction between Chlorhexidine Digluconate and EDTA', *Journal of Endodontics*. American Association of Endodontists, 34(12), pp. 1521–1523. doi: 10.1016/j.joen.2008.08.039.

Retamozo, B. *et al.* (2010) 'Minimum Contact Time and Concentration of Sodium Hypochlorite Required to Eliminate *Enterococcus faecalis*', *Journal of Endodontics*. Elsevier Ltd, 36(3), pp. 520–523. doi: 10.1016/j.joen.2009.12.005.

Rödig, Tina *et al.* (2010) 'Effectiveness of different irrigant agitation techniques on debris and smear layer removal in curved root canals: A scanning electron microscopy study', *Journal of Endodontics*, 36(12), pp. 1983–1987. doi: 10.1016/j.joen.2010.08.056.

Rödig, T. *et al.* (2010) 'Efficacy of syringe irrigation, RinsEndo® and passive ultrasonic irrigation in removing debris from irregularities in root canals with different apical sizes', *International Endodontic Journal*, 43(7), pp. 581–589. doi: 10.1111/j.1365-2591.2010.01721.x.

Saber, S. E. D. and Hashem, A. A. R. (2011) 'Efficacy of different final irrigation activation techniques on smear layer removal', *Journal of Endodontics*. Elsevier Ltd, 37(9), pp. 1272–1275. doi: 10.1016/j.joen.2011.06.007.

Saito, K. *et al.* (2008) 'Effect of Shortened Irrigation Times with 17% Ethylene Diamine Tetra-acetic Acid on Smear Layer Removal after Rotary Canal Instrumentation', *Journal of*

Endodontics. Elsevier Inc., 34(8), pp. 1011–1014. doi: 10.1016/j.joen.2008.05.014.

Siqueira, J. F. *et al.* (2007) ‘Bacteriologic investigation of the effects of sodium hypochlorite and chlorhexidine during the endodontic treatment of teeth with apical periodontitis’, *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology*, 104(1), pp. 122–130. doi: 10.1016/j.tripleo.2007.01.027.

Van Der Sluis, L. W. M. *et al.* (2007) ‘Passive ultrasonic irrigation of the root canal: A review of the literature’, *International Endodontic Journal*, 40(6), pp. 415–426. doi: 10.1111/j.1365-2591.2007.01243.x.

Van Der Sluis, L. W. M., Wu, M. K. and Wesselink, P. R. (2005) ‘A comparison between a smooth wire and a K-file in removing artificially placed dentine debris from root canals in resin blocks during ultrasonic irrigation’, *International Endodontic Journal*, 38(9), pp. 593–596. doi: 10.1111/j.1365-2591.2005.00921.x.

Stojicic, S. *et al.* (2012) ‘Antibacterial and smear layer removal ability of a novel irrigant, QMiX’, *International Endodontic Journal*, 45(4), pp. 363–371. doi: 10.1111/j.1365-2591.2011.01985.x.

Torabinejad, M. *et al.* (2003) ‘The antimicrobial effect of MTAD: An in vitro investigation’, *Journal of Endodontics*, 29(6), pp. 400–403. doi: 10.1097/00004770-200306000-00005.

TürKÜN, M. and CENGİZ, T. (1997) ‘The effects of sodium hypochlorite and calcium hydroxide on tissue dissolution and root canal cleanliness’, *International Endodontic Journal*, 30(5), pp. 335–342. doi: 10.1111/j.1365-2591.1997.tb00720.x.

Vera, J. *et al.* (2012) ‘Effect of maintaining apical patency on irrigant penetration into the apical two millimeters of large root canals: An in vivo study’, *Journal of Endodontics*, 38(10), pp. 1340–1343. doi: 10.1016/j.joen.2012.06.005.

Vivan, R. R. *et al.* (2016) ‘Evaluation of different passive ultrasonic irrigation protocols on the removal of dentinal debris from artificial grooves’, *Brazilian Dental Journal*, 27(5), pp. 568–572. doi: 10.1590/0103-6440201600725.

Weller, R. N., Brady, J. M. and Bernier, W. E. (1980) ‘Efficacy of ultrasonic cleaning’, *Journal of Endodontics*, 6(9), pp. 740–743. doi: 10.1016/S0099-2399(80)80185-3.

Wiseman, A. *et al.* (2011) ‘Efficacy of sonic and ultrasonic activation for removal of calcium

hydroxide from mesial canals of mandibular molars: A microtomographic study', *Journal of Endodontics*. Elsevier Ltd, 37(2), pp. 235–238. doi: 10.1016/j.joen.2010.11.019.

Zehnder, M. *et al.* (2005) 'Chelation in root canal therapy reconsidered', *Journal of Endodontics*, 31(11), pp. 817–820. doi: 10.1097/01.don.0000158233.59316.fe.

Zehnder, M. (2006) 'Root Canal Irrigants', *Journal of Endodontics*, 32(5), pp. 389–398. doi: 10.1016/j.joen.2005.09.014.

Zou, L. *et al.* (2010) 'Penetration of Sodium Hypochlorite into Dentin', *Journal of Endodontics*. American Association of Endodontists, 36(5), pp. 793–796. doi: 10.1016/j.joen.2010.02.005.