



Facultad de Odontología
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA



Escuela de
Graduados

Irrigación y Ultrasonido en Endodoncia

Dra. Leticia Grela
Tutora: Prof. Adj. Dra. Sylvia Martinelli

Carrera de Especialización en Endodoncia
Universidad de la República
Escuela de Graduados Facultad de Odontología
Montevideo, Uruguay 2024

SUMARIO

RESUMEN

ABREVIATURAS

1. INTRODUCCION	1
2. OBJETIVOS	2
2.1. Objetivo general.....	2
2.2. Objetivos específicos.....	2
3. MÉTODO	3
4. ANTECEDENTES	3
5. DESARROLLO	5
5.1-Irrigación en Endodoncia.....	5
5.2-Soluciones de irrigación en Endodoncia.....	7
5.2.1- Hipoclorito de Sodio.....	7
5.2.2-Clorhexidina.....	8
5.2.3- Ácido Etilendiaminotetraacético.....	9
5.2.4- Ácido Cítrico.....	10
5.2.5-Interacciones entre las soluciones de irrigación.....	10
5.3- Irrigación por presión positiva.....	11
5.3.1-Jeringas.....	11
5.3.2-Agujas.....	12
5.3.3-Vapor Lock.....	15
5.4-Ultrasonido.....	15
5.4.1- Características del Ultrasonido.....	15
5.4.2- Usos del Ultrasonido en Endodoncia.....	16
5.4.3- Efectos del Ultrasonido sobre los irrigantes.....	17
5.4.3.1- Transmisión acústica.....	17
5.4.3.2- Cavitación.....	18
5.4.3.3- Calor.....	19
5.5-Métodos para la activación o agitación de los irrigantes.....	20
5.5.1- Agitación dinámica manual.....	20
5.5.2- Activación Ultrasónica de los irrigantes.....	21
5.5.2.1- Irrigación Ultrasónica Pasiva.....	21
5.5.2.2- Irrigación Ultrasónica Continua.....	23

5.5.3- Otros dispositivos para la activación de los irrigantes.....	26
5.5.3.1-Endoactivator.....	26
5.5.3.2- EDDY®.....	27
5-5.3.3- XP- EndoFinisher.....	28
5.5.3.4- LÁSER.....	29
6-DISCUSSION.....	29
7-CONCLUSIONES.....	34
8-BIBLIOGRAFIA.....	35

ABREVIATURAS

- **US:** Ultrasonido
- **NaOCl:** Hipoclorito de Sodio
- **CHX:** Clorhexidina
- **EDTA:** Ácido Etilendiaminotetraacético
- **G:** Gauge
- **Ni-Ti:** Níquel Titanio
- **IC:** Irrigación Convencional
- **IU:** Irrigación Ultrasónica
- **IUP:** Irrigación Ultrasónica Pasiva
- **IUC:** Irrigación Ultrasónica Continua
- **ADM:** Activación Dinámica Manual
- **LÁSER:** Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
- **PIPS:** Photonon-Induced Photoacoustic Streaming

RESUMEN

El avance de las enfermedades pulpares y perirradiculares está estrechamente relacionado con los microorganismos. Por eso es necesario durante el tratamiento endodóntico combinar las maniobras de instrumentación e irrigación.

La irrigación tiene un papel fundamental durante la terapia endodóntica, cumple con objetivos químicos, físicos y mecánicos.

En esta revisión se pretende destacar la importancia de la acción de irrigar, para lograr mayor eficacia en la limpieza y desinfección del sistema de conductos.

Para limpiar el espacio del conducto radicular se utiliza el hipoclorito de sodio, por sus propiedades antibacterianas y su capacidad de disolver tejidos, combinado con un agente quelante para la eliminación de la porción inorgánica.

El desafío clínico de esta etapa radica en alcanzar con las sustancias químicas aquellas áreas de la compleja anatomía radicular, en las cuales los instrumentos no pueden realizar su función.

La irrigación convencional que utiliza jeringa y aguja es utilizada comúnmente por los odontólogos, pero se pueden destacar algunas carencias con este procedimiento, especialmente si se descuidan algunas cuestiones.

Se han desarrollado diferentes técnicas y dispositivos de agitación para optimizar la penetración de los irrigantes, como la técnica de agitación manual o la activación mediante diferentes dispositivos, entre ellos el ultrasonido.

El ultrasonido es una forma de energía sonora que no se encuentra dentro del espectro audible por el oído humano. Tiene aplicaciones muy variadas en la medicina. En Endodoncia es una herramienta versátil, que se puede utilizar en las diferentes etapas del tratamiento. Específicamente durante la irrigación, la activación pasiva con ultrasonido ya sea continua o intermitente, produce efectos hidrodinámicos como flujo acústico, cavitación y calor, que mejoran el desbridamiento del sistema radicular.

PALABRAS CLAVE: Endodontics, root canal irrigants, ultrasonic activation.

1. INTRODUCCIÓN

La Endodoncia es una ciencia dentro del conjunto de las ciencias de la salud, reconocida por la Asociación Dental Americana desde 1964 como especialidad de la Odontología. Su campo de estudio e investigación se centra en la morfología, la fisiología y la patología de la pulpa dental y de los tejidos perirradiculares.(1)

Integra ciencias básicas y clínicas, que se dedican a la biología de la pulpa normal, a la etiopatogenia, al diagnóstico, a la prevención y el tratamiento de las afecciones pulpares y sus repercusiones en los tejidos perirradiculares. (2)

El éxito de los tratamientos a largo plazo se asocia a una adecuada limpieza, desinfección, conformación y obturación tridimensional del sistema de conductos.

Limpieza y conformación es el concepto más acertado actualmente(3) para denominar la preparación del conducto radicular. A lo largo de los años ha recibido otras denominaciones como preparación quirúrgica y química o preparación biomecánica. Los términos limpieza y conformación se complementan, tienen una relación conceptual, temporal y mecánica. La conformación facilita la limpieza y ésta completa y finaliza la conformación. Se considera a la instrumentación (mediante instrumentos como lo son las fresas, limas manuales o rotatorias) un medio que proporciona el acceso a la anatomía apical para los irrigantes que tendrán el propósito de limpiar y desinfectar. (4)

Para la irrigación, son necesarias soluciones irrigantes con ciertas propiedades físicas y químicas que califiquen para poder alcanzar los objetivos deseados. Al ser depositadas en el interior del sistema radicular pretenden lograr la disolución de restos de tejido orgánico ya sean vivos o necróticos, así como también eliminar y reducir la mayor cantidad de microorganismos posible. Otras funciones consisten en lubricar y eliminar detritus producto de la instrumentación.

La acción de irrigar y aspirar son eventos independientes que se realizan de manera concomitante, con el fin de remover y renovar el contenido del canal radicular.(5)

Gulabivala et al. 2005 (6) analizó posibles cambios mecánicos y químicos que se producen en la superficie dentinaria durante un tratamiento de Endodoncia. Consideró las diferentes situaciones en las que se puede presentar una pieza: con o sin periodontitis apical, con tejido vital o necrótico. El autor destaca el rol de la preparación mecánica del conducto para crear y mantener el acceso a la anatomía apical, lo que permite aplicar los agentes antimicrobianos y el material de sellado final.

En el último tiempo hubo un cambio de paradigma, dándole a la irrigación un papel protagónico. La justificación es lógica y se basa en que con los instrumentos no se

logra acceder a gran proporción de la superficie interna debido a la intrincada morfología radicular. (7)

La compleja configuración del sistema de conductos y la región apical se debe tener en consideración durante el tratamiento. Los fracasos muchas veces se asocian a una limpieza insuficiente. Canales laterales, secundarios, accesorios, interconductos, recurrentes, y delta apical; (8) son un desafío para lograr el éxito.

En la búsqueda de mejorar los resultados de limpieza y desinfección se implementan distintas técnicas y protocolos de irrigación. En la literatura se describen, la técnica pasiva que hace referencia a la irrigación convencional mediante jeringa y aguja. Por otra parte se encuentran las técnicas activas, que pueden ser llevadas a cabo de forma manual o a través de algún dispositivo, entre los cuales están los dispositivos ultrasónicos.(9)

Los tratamientos endodónticos, se ven beneficiados con el desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías y herramientas. Como son el microscopio, la microtomografía computarizada y los ultrasonidos.

2. OBJETIVOS

2.1- Objetivo general:

Presentar mediante una revisión de la literatura científica, la relevancia clínica de la irrigación y del ultrasonido durante la terapia endodóntica para la activación de las soluciones irrigantes.

2.2- Objetivos específicos:

- Mencionar las soluciones de irrigación más utilizadas y la técnica de irrigación convencional.
- Describir las características de la energía ultrasónica y sus propiedades.
- Exponer las técnicas de activación mediante ultrasonido y sus efectos sobre las soluciones de irrigación.

3. METODO

Para la revisión realizada se buscaron documentos en las bases de datos Pubmed, BVS y SciELO. Los criterios de inclusión fueron documentos en español, inglés y portugués sin período de años de publicación.

Se realizó, además, una búsqueda manual de la literatura encontrada. Incluyendo un total de 99 artículos.

La estrategia de búsqueda aplicada fue:

```
"endodontics"[MeSH Terms] AND "root canal irrigants"[MeSH Terms] AND
(("ultrasonically"[All Fields] OR "ultrasonicated"[All Fields] OR "ultrasonication"[All
Fields] OR "ultrasonicator"[All Fields] OR "ultrasonics"[MeSH Terms] OR
"ultrasonics"[All Fields] OR "ultrasonic"[All Fields]) AND ("activable"[All Fields] OR
"activate"[All Fields] OR "activated"[All Fields] OR "activates"[All Fields] OR
"activating"[All Fields] OR "activation"[All Fields] OR "activations"[All Fields] OR
"activator"[All Fields] OR "activator s"[All Fields] OR "activators"[All Fields] OR
"active"[All Fields] OR "acted"[All Fields] OR "actively"[All Fields] OR "actives"[All
Fields] OR "activities"[All Fields] OR "activity s"[All Fields] OR "activitys"[All Fields]
OR "motor activity"[MeSH Terms] OR ("motor"[All Fields] AND "activity"[All Fields])
OR "motor activity"[All Fields] OR "activity"[All Fields]))
```

4- ANTECEDENTES

El papel de la irrigación y los irrigantes en Endodoncia ha ido ganando interés a lo largo del tiempo. La investigación ha incluido a otros campos de estudio que hacen del tema un área interdisciplinaria.

Grossman en 1943 establecía lineamientos para la irrigación, que sirvieron como orientación clínica. Mencionaba ciertas pautas como la inserción de la aguja en el canal sin que la misma tuviera interferencias y evitaba ejercer excesiva presión al depositar las soluciones irrigantes.(10) Consideraciones que hasta el día de hoy se siguen aplicando. (11)

El desbridamiento mecánico, a pesar de los esfuerzos y del uso de las aleaciones de níquel-titanio, deja áreas relativamente extensas de los conductos radiculares sin tocar, (12) por lo cual el desbridamiento químico tiene un rol fundamental.

La primera aplicación del US fue en Periodoncia, introducido por Zinner en 1955,(13) desde entonces se han modificado y expandido sus usos en otras especialidades de Odontología.

En Endodoncia fue introducido por Richman en 1957 quién desarrolló un dispositivo que tenía como fin la preparación de conductos radiculares. Martin et.al. en 1985, crearon una unidad de ultrasonido con el nombre de Caviendo. (Caulk/Denstplay, EUA) (14)

Cunningham et al. 1982 (15) realizaron un estudio in vitro, en el cual compararon dos técnicas de limpieza. En el primer grupo aplicaron una técnica de limado manual convencional y en el segundo grupo, una técnica ultrasónica "Endosónica". Describieron un sistema sinérgico, en el que la lima era energizada (20Khz) en el interior del conducto con un flujo continuo del irrigante. Para el análisis y comparación, efectuaron cortes a diferentes alturas de las muestras y lograron observar microscópicamente resultados superiores de limpieza con la aplicación de la energía ultrasónica. Los autores destacaron los efectos que produce el US sobre los irrigantes: cavitación, calentamiento, agitación y transmisión acústica. También resaltaron que las soluciones de limpieza son un complemento capaz de alcanzar sitios inaccesibles de la intrincada anatomía del sistema radicular.

La instrumentación de los conductos con ultrasonido fue por algún tiempo una alternativa. Hay evidencia de que es un procedimiento que genera efectos biológicos y físicos no deseados, que están relacionados con ciertos riesgos, debido a la dinámica del instrumento.(16) La oscilación genera cortes irregulares y surcos en la dentina, con la posible deformación a nivel apical debido a la mayor amplitud de movimiento. La diferencia con la instrumentación manual radica en que en ésta el corte tiene sentido longitudinal. (17)

En base a estos hallazgos, se fueron modificando las aplicaciones, dejando de lado la preparación de los conductos con US. Se encontraron mejores resultados con el US como complemento para el desbridamiento y la limpieza de los canales radiculares.(18)

Existen múltiples estudios acerca del US, sus efectos y eficacia en la agitación de las soluciones irrigantes. Se ha visto su potencial para eliminar restos de tejido pulpar, microorganismos, restos dentinarios y de barrillo, así como su capacidad para hacer penetrar al irrigante en el vasto sistema de conductos de manera segura. (19)

En la actualidad, la dinámica de fluidos computacional (DFC) permite un nuevo enfoque. Es una herramienta, que estudia fenómenos físicos y químicos, utiliza modelos matemáticos y simulación por computadora. (20) Tiene la ventaja del realismo físico, lo que permite evaluar y predecir ciertos parámetros de la dinámica de las soluciones en el sistema de conductos radiculares, que in vivo, no son posibles de determinar. (21,22)

5- DESARROLLO

5.1- Irrigación en Endodoncia

La irrigación en Endodoncia es el mecanismo que se pone en práctica durante la terapia para realizar el lavado del sistema de conductos acompañada por la aspiración, de aquellos restos y sustancias que puedan estar contenidos en la cámara pulpar y/o en los conductos radiculares.

Según el Glosario la Asociación Americana de Endodoncistas, la irrigación se puede definir, como: “el lavado mediante la aplicación de una corriente de líquido. La misma facilita la eliminación física de materiales del canal y la introducción de productos químicos con actividad antimicrobiana, desmineralizante, capacidad de disolución de tejidos, blanqueadora, desodorizante y control de hemorragias” (23)

Las técnicas de irrigación y los tratamientos de Endodoncia están condicionados por factores como la resistencia de los microorganismos organizados, la dificultad de las soluciones para penetrar en el sistema radicular y el recambio de estas en zonas no tratadas del conducto. (24) (*Imagen 1*)

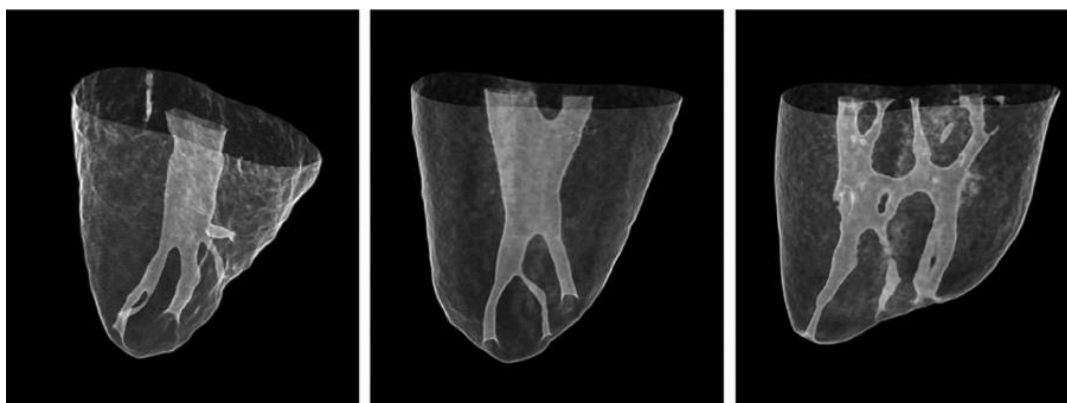


IMAGEN 1. Exploración de la compleja anatomía apical en tres ápices, mediante Microtomografía Computarizada. Tomada de: (11).

Los fracasos en los tratamientos de endodoncia pueden asociarse a una limpieza insuficiente. Los microorganismos que persisten en zonas remotas del sistema radicular tienen estrecha relación con las infecciones intrarradiculares, que son la causa principal de las infecciones secundarias (enfermedad postratamiento). Esto se produce porque las bacterias organizadas en biopelículas suelen alojarse en irregularidades, istmos y ramificaciones del sistema de conductos. (*Imagen 2*) Estos sitios son inalcanzables para la instrumentación mecánica, los irrigantes y la medicación tienen acceso limitado. (25,26)

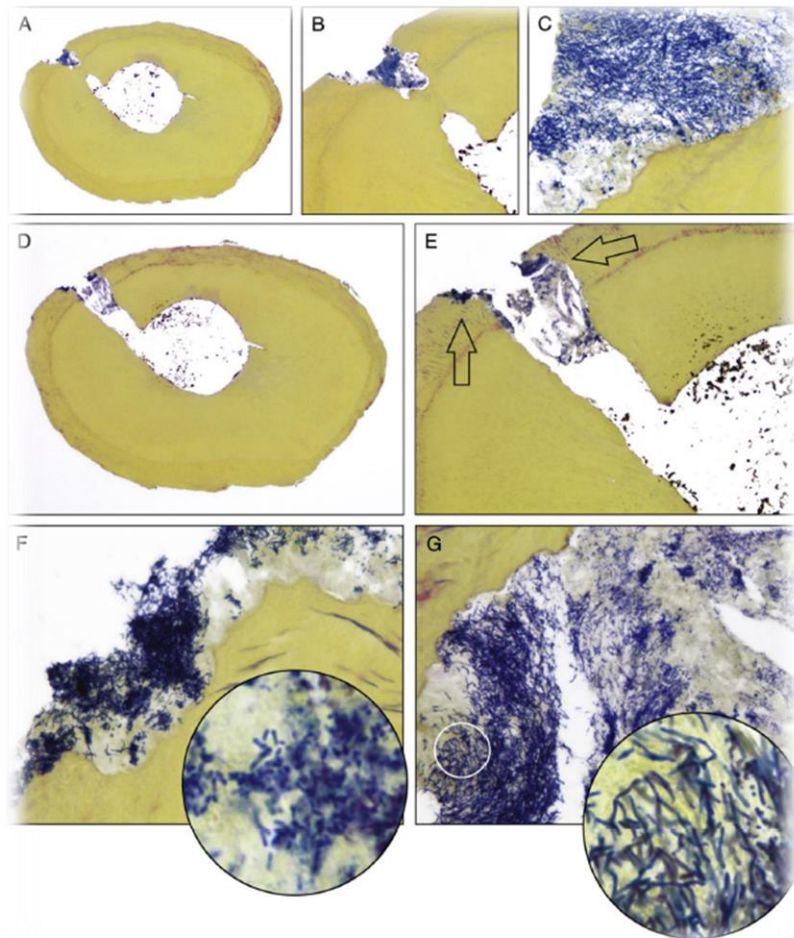


IMAGEN 2: Corte transversal de una raíz, luego de ser tratada endodónticamente. Se aprecia un canal lateral con su salida y en su interior una biopelícula con predominancia de formas filamentosas bacterianas Tomada de:.(26)

Objetivos de la irrigación

La acción de irrigar debe estar presente durante toda la terapia endodóntica, esto quiere decir antes, durante y después de la instrumentación. Sus objetivos comprenden efectos mecánicos, químicos y biológicos, pero ningún efecto dañino o perjudicial.(21)

Funciones deseadas de las soluciones de irrigación:

- Acción de lavar (ayuda a eliminar los desechos)
- Reducir la fricción del instrumento durante la preparación (lubricante)
- Facilitar la eliminación de la dentina (lubricante)

- Disolver tejido inorgánico (dentina)
- Disolver material orgánico (colágeno dentinario, tejido pulpar, biopelícula)
- Matar bacterias y levaduras
- No irritar, no dañar el tejido periapical vital, no tener efectos cáusticos ni citotóxicos
- No debilitar la estructura dental

5.2- Soluciones de irrigación en Endodoncia

Una solución se compone de un soluto y un solvente, el estado físico, lo determina el disolvente. En Endodoncia se utilizan líquidos pudiendo ser el soluto un sólido, un líquido o un gas.

Ciertas propiedades físicas como bajo coeficiente de viscosidad y baja tensión superficial aumentan la humectación y la penetración de la solución. Al lograr mayor contacto con la superficie dentinaria, mejoran el acceso y la renovación de la solución a la porción más apical del conducto radicular, donde se encuentra la mayor incidencia de curvas y ramificaciones. (5)

Durante el tratamiento de endodoncia es necesario aplicar dos o más sustancias irrigantes para lograr la limpieza adecuada del sistema de conductos.(21) Las soluciones más utilizadas son: el hipoclorito de sodio (NaOCl), el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) y la clorhexidina (CHX). Teniendo en cuenta sus propiedades es posible su aplicación para generar determinados efectos.

5.2.1- Hipoclorito de sodio

El NaOCl se encuentra dentro de los compuestos halogenados. Es una sal formada por ácido hipocloroso (HOCl) e hidróxido de sodio (NaOH). Posee propiedades antibacterianas, antimicóticas y antivirales.

En 1936 Walker reportó el uso de NaOCl como irrigante de conductos. En 1941 Grossman y Meiman, ahondaron en los efectos químico-mecánicos y demostraron la importancia de este como disolvente de tejido pulpar. (5)

El NaOCl es el irrigante de elección en Endodoncia por sus propiedades: antimicrobianas, disolvente, neutralizante, baja tensión superficial, desodorizante y blanqueante. (8)

Se aplica en concentraciones del 0.5% al 6%. Puede disolver el componente orgánico necrótico y vital. Actúa sobre la parte orgánica del barrillo dentinario, pero es incapaz de actuar sobre la parte inorgánica del mismo (9) Para complementar su acción es que se usa habitualmente un agente quelante.

Su acción antimicrobiana sobre el tejido pulpar necrótico es producida por el hidróxido de sodio y el ácido hipocloroso, que actúan sobre los ácidos grasos y sobre los aminoácidos de las proteínas respectivamente.

Siquiera Jr. y Rôças. 2000 (27) analizaron ex vivo la aplicación de diferentes concentraciones de NaOCl (1%, 2.5% y 5,25%) y solución salina para la irrigación de conductos infectados con *E.faecalis*. Con los resultados obtenidos determinaron que todas las soluciones redujeron los niveles de bacterias, pero las soluciones de NaOCl alcanzaron valores significativamente mejores. Concluyeron que el flujo y reflujo durante la irrigación colaboran en la disminución de microorganismos, pero la efectividad superior del NaOCl se debe a su potente acción antibacteriana.

No hay consenso sobre cuál es la concentración más adecuada de NaOCl. (28) Hay estudios que comprueban la efectividad bactericida del NaOCl a bajas concentraciones (0,1%)(29)

Existe un gran interés en determinar las características ideales de este irrigante, pero son varios los factores (concentración, temperatura, valor de pH o el tiempo de exposición) que pueden incidir en su actividad y eficacia.(30) Universalmente el NaOCl es la solución irrigante de primera elección. Su capacidad antibacteriana y disolvente de tejido no es superada aún por otra sustancia.(31) Se debe tener en cuenta que al elevar la concentración mayor es el potencial citotóxico, aumentando el riesgo de generar accidentes o complicaciones.

5.2.2- Clorhexidina

El digluconato de clorhexidina (CHX) es un antimicrobiano de amplio espectro. Se utiliza líquida o en gel, como solución irrigante y como mediación intraconducto. Concentraciones de 0.12% y 2%, tienen efecto bacteriostático o bactericida respectivamente, por lo que su acción es concentración dependiente. Tiene la propiedad de sustantividad, brindando un efecto antimicrobiano residual al unirse al tejido duro. Su mecanismo de acción consiste en atacar el citoplasma celular y generar coagulación de componentes intracelulares bacterianos. No tiene la capacidad de disolver sustancia orgánica como el NaOCl, por lo que su uso como irrigante único está limitado.(32) Su toxicidad es baja, no tiene olor desagradable y no genera erosión de la dentina. Se sugiere como irrigante final para potenciar el efecto antimicrobiano de amplio espectro y sustantividad en casos de infección persistente.(9,21)

5.2.3- Ácido Etilendiaminotetraacético

El EDTA es una sal disódica. Su aplicación tiene por objetivo remover los residuos inorgánicos que fueron generados durante la etapa de conformación, el barrillo dentinario o smear layer. Esta capa de 0.5 a 2mm de espesor, (33) irregular y granular, compromete la limpieza. (Imagen 3) Obstruye la superficie de los túbulos dentinarios, pudiendo quedar en los mismos restos de tejido vital o necrótico y microorganismos. Para su remoción completa es que se combina con un agente desproteinizante como el NaOCl. (34)(Virdee 2017)

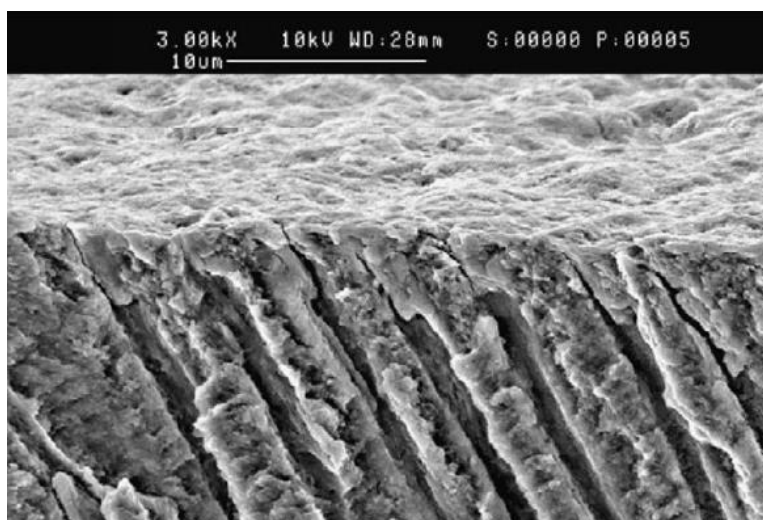


IMAGEN 3: Sección transversal de dentina radicular cubierta por barrillo dentinario, creado durante la instrumentación. Tomada de:.(21)

Su acción desmineralizante sucede cuando se une a iones calcio (Ca^{+2}) de la dentina, cada molécula de EDTA se puede unir a un único ion calcio. Al alcanzar el equilibrio no hay más disolución, por lo que su efecto es autolimitado. (35,36)

La aplicación de EDTA 17% está indicado para eliminar la porción inorgánica. Como efecto no deseado genera erosión dentinaria por la disolución de hidroxapatita dejando expuesta la trama de colágeno. Para evitar este inconveniente, es necesario considerar el tiempo de acción dentro del sistema radicular. Se sugiere la aplicación de EDTA 17% durante 1 minuto, seguido de un enjuague final con NaOCl activado US. Esta maniobra permite limpiar áreas no instrumentadas, que no contienen barrillo dentinario, pero si restos de dentina, biofilm o restos de tejido pulpar, por eso el NaOCl es fundamental para la limpieza química final. (33)

5.2.4- Ácido cítrico

Se utiliza en concentraciones del 1% al 50%, es efectivo como agente desmineralizante. Se utiliza comúnmente al 10% (21) como quelante por su capacidad de reaccionar con los iones metálicos en los cristales de hidroxiapatita, removiendo los iones calcio (Ca^{+2}) de la dentina. (37).

5.2.5- Interacciones entre soluciones irrigantes

Existen ciertas reacciones entre las soluciones de riego que es preciso mencionarlas para evitar accidentes y malas experiencias.

El EDTA provoca la reducción del ion cloro, por lo que reduce la acción disolvente del NaOCl afectando sus propiedades.

La interacción de NaOCl con CHX da como resultado un cambio de color y un precipitado, pudiendo causar la tinción del diente e interferir con la obturación final.

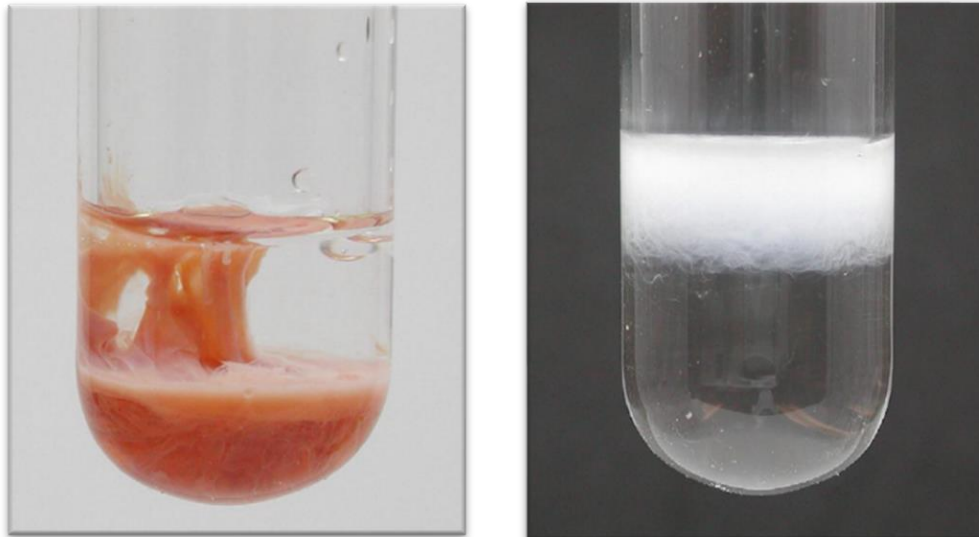
El compuesto químico que se genera es la paracloroanilina, que al penetrar dentro de los túbulos dentinarios tiene potencial tóxico y mutagénico en los seres humanos.

Se recomienda eliminar el NaOCl residual mediante otra solución irrigante (agua destilada o suero) y secar con conos de papel antes de utilizar CHX al 2%(21,32)

En un estudio de Basrani et al. 2007 (24), analizaron la interacción entre ambas soluciones. Colocaron CHX al 2% en nueve microtubos y variaron la concentración de NaOCl en cada uno. Ellos observaron la formación de precipitados y cambio de color de amarronado a anaranjado en todas las muestras, incluso con la mínima concentración de NaOCl (0.023%), sin apreciar cambios en el tiempo de acción.

(Imagen 4)

Por otra parte el uso de EDTA junto con CHX forma un precipitado blanco del cual no se saben sus efectos.(21) *(Imagen 5)*



IMÁGEN 4- (izquierda) Formación de precipitado anaranjado, interacción NaOCl con CHX. / IMAGEN 5-(derecha). Formación de nube blanca y precipitado, interacción CHX con EDTA. Tomadas de: (21)

5.3 - Irrigación por presión positiva

Es el método más popular que se utiliza en Endodoncia. El término hace referencia a la técnica convencional, requiere de una jeringa y una aguja para cada solución utilizada.

5.3.1- Jeringas

Se recomiendan las denominadas Luer lock que en su diseño tienen un accesorio roscado en su extremo para evitar que la aguja se desprenda por la presión generada. Son de plástico y se pueden encontrar de diferentes tamaños de 1 a 20ml. (Imagen 6) También se utilizan jeringas Luer simples, sin el sistema mencionado, aunque no son las más indicadas.



IMAGEN 6- Jeringas de plástico para irrigación. Tomada de: (21)

El clínico al irrigar debe ejercer fuerza manual sobre el émbolo de la jeringa, la cual se transmite como presión al irrigante. La diferencia de presión entre el interior del tubo y el exterior, hace que la solución irrigante sea impulsada a través de la aguja hacia el interior del conducto radicular, por esto se la clasifica como una técnica de presión positiva. (38)

Cuanto más volumen de carga admite la jeringa, menos recargas se deben efectuar, lo que permite ahorrar tiempo. El inconveniente, es que la fuerza táctil que se transmite como presión, es menos controlable haciendo que el procedimiento sea inseguro. Para reducir el riesgo de accidentes, se aconseja el uso de jeringas pequeñas de 1 a 5ml.

5.3.2-Agujas

Hay muchos diseños diferentes. Se clasifican según su punta que puede ser abierta o cerrada, con una salida o más. (*Imagen 7*) El tamaño es expresado en Gauge (G) que corresponde al calibre, según el diámetro interior y exterior. Cuanto mayor es G menor será el calibre de la aguja. Esto se ajusta a la norma ISO aplicada a las agujas hipodérmicas que se usan en medicina, pero no coinciden con la norma ISO de los instrumentos utilizados en Endodoncia.

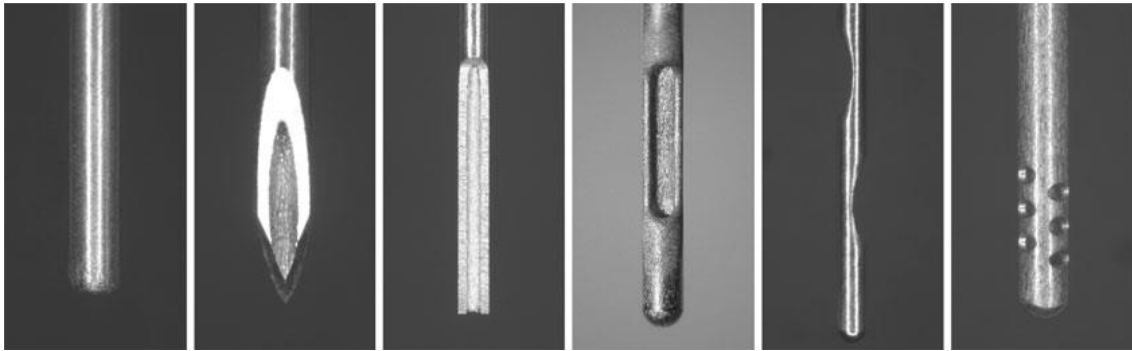


IMAGEN 7- Agujas de irrigación con sus diferentes salidas. Tomada de: (32)

Se pueden encontrar agujas de 21G, 24G, 25 G, 27G, 30 G y 31G. Son de elección las más pequeñas de 27G, 30G, 31G para asegurar el equilibrio entre la correcta profundidad de entrega de la solución y favorecer el flujo adecuado.(39) *(Imagen 8)*



- 21G= Lima 80 verde = 37 mm
- 24G= Lima 55 violeta= 25 mm
- 25G= Lima 50 naranja= 15 mm
- 27G= Lima 40 gris= 11 mm
- 30G= Lima 30 amarilla= 13 mm

IMAGEN 8- Diferentes calibres y longitudes de agujas y su correspondencia con normas ISO aplicadas para limas endodónticas. Fotografía tomada por Prof. Adj. Dra. Martinelli.

Existen en el mercado agujas específicas para Endodoncia como las Navi Tip (Ultradent, EE.UU con diferentes calibres (29G y 30 G) y longitudes (17mm, 21mm. 25mm y 27mm) que es posible esterilizarlas en autoclave. (Imagen 9)



IMAGEN 9- Agujas Navi-Tip (Ultradent, EE.UU). Tomada de:

<https://www.ultradent.lat/products/categories/endodontics/irrigants-lubricants-medicaments/navitip-endodontic-delivery-tips/navitip-tips>

La distribución de los agentes de irrigación dentro del sistema de conductos, al elegir la irrigación con jeringa y aguja tiene varias aristas a considerar. Chow et al.1943 fue quien realizó los primeros estudios con relación a la eficacia mecánica de la irrigación convencional, en sistemas artificiales con agujas hipodérmicas. El observó poco desplazamiento de las partículas más allá de la salida de la aguja y mejores resultados con agujas de pequeño calibre. La profundidad de penetración de la aguja y el tipo de salida de estas tienen un rol fundamental en el alcance de la solución.(40) El avance del irrigante en el interior del conducto va a variar de acuerdo con el tipo de salida de la aguja. En las de salida lateral el riesgo de extrusión hacia los tejidos periapicales es menor y pueden ser posicionadas a 1mm del límite de trabajo. Cuando el extremo apical es abierto, la salida de la solución en forma de “chorro” se dirige apicalmente con intensidad, teniendo en cuenta la profundidad de penetración es acertado colocar su punta a 2 o 3 mm del límite de trabajo lo que brinda cierto margen de seguridad.(41) Considerar estas variaciones genera más eficacia en el reemplazo de la solución irrigante y mejor control de la presión. Se recomiendan el uso de las agujas con salida lateral, para prevenir la extrusión apical y reducir el riesgo de complicaciones.(41,42)

Otro factor que tiene influencia en la penetración de los irrigantes en el sistema de conductos radiculares, es la anatomía original del conducto radicular y la determinada luego de la conformación apical final. Grossman et al. 1943 mencionaba la

importancia de realizar una preparación mecánica suficiente que permitiera el ingreso libre y holgado de la aguja de irrigación.(10) El tamaño de la preparación y la selección de la aguja de irrigación van de la mano, teniendo en cuenta que la solución no va más allá de 1mm apicalmente de la salida de la aguja. Si la conformación apical tuviera un tamaño ISO 35 o 40, se debería seleccionar una aguja 30G con la cual se lograría alcanzar la zona apical.(37) Boutsoukis et al. 2010 en un estudio de dinámica de fluidos computacional analizó como la conicidad de la conformación es determinante para el intercambio de la solución irrigante. Al aumentar la conicidad del conducto mejoró el desbridamiento durante la irrigación y destacó el mejor reemplazo de las soluciones.

Para optimizar la técnica de irrigación por presión positiva, la aguja se debe seleccionar de acuerdo con el tamaño de conformación realizada. Considerar el tipo de salida, para medir y marcar la profundidad de penetración deseada. Verificar siempre que no haya interferencias o atascamiento de la misma en el conducto, lo que permitirá una irrigación más segura, con la evacuación hacia coronal del irrigante y detritus.(42)

5.3.3- Vapor Lock

Es un fenómeno físico, conocido como “bloqueo de vapor”. Su explicación se basa en que el sistema de conductos está rodeado por los tejidos perirradiculares y se comporta como un sistema cerrado. Suponiendo que fuera un sistema abierto, esto no sería un problema porque el líquido podría fluir por el foramen apical. El inconveniente se genera por el atrapamiento de aire en el tercio apical. La formación de burbujas de gas impiden que el fluido se desplace y logre el contacto directo con la pared dentinaria, por eso afecta el desbridamiento en esta región.(32)

Se sugiere la agitación con algún método para lograr romper las burbujas y utilizar líquidos con menor tensión superficial. (39,43)

5.4. Ultrasonido

5.4.1- Características del US

El sonido es una alteración de la presión atmosférica, producida por la oscilación de partículas a través de las cuales se trasmite longitudinalmente una onda sonora.

La frecuencia percibida por el oído humano se encuentra entre los 20 y 20.000Hz. Por debajo de este espectro se encuentran los infrasonidos y por encima los ultrasonidos.

Se describe como ultrasonido a las frecuencias de onda que superan los 20.000Hz, y no son perceptibles por el oído humano. Sus aplicaciones son múltiples, en áreas de ciencia, investigación, industria y tecnología

En Odontología, la vibración ultrasónica se puede producir por dos mecanismos. El magnético (magnetoestricción) o el piezoeléctrico. Para el primero, se producen cambios en el campo magnético que transfieren la energía eléctrica en energía mecánica. El método piezoeléctrico, funciona mediante piezas de cristal (que se encuentran en el interior de la pieza de mano) que al ser estimuladas por una corriente eléctrica cambian de dimensión y generan vibraciones. (44)

Los dispositivos piezoeléctricos ofrecen ventajas sobre los magnéticos, porque tienen una alta eficiencia en la transferencia de energía, generando un movimiento lineal del instrumento, lo cual ofrece mayor precisión y seguridad. Además de consumir menos energía y producir menos calor. (45,46)

Para la aplicación de energía ultrasónica se utilizan frecuencias que varían entre 25-40 kHz. Al utilizar la frecuencia ultrasónica, se produce una onda transversal a lo largo del inserto ultrasónico que se caracteriza por nodos (sitios de mínimo desplazamiento) y antinodos (sitios de máximo desplazamiento). (16)

La frecuencia está determinada en el generador por el fabricante, no es modificable. El operador puede ajustar la potencia que implica un cambio en la amplitud de las oscilaciones. De acuerdo con la indicación clínica, se seleccionará menor potencia para insertos más delicados o mayor potencia para procedimientos que requieran insertos más agresivos. También se puede regular el suministro de agua, según el inserto ultrasónico y el fin de su aplicación.(46)

5.4.2.- Usos del Ultrasonido en Endodoncia

Existen en el mercado puntas ultrasónicas con diseños para cada paso del tratamiento endodóntico. (*Imagen 10*) Se fabrican en aleaciones de acero inoxidable, aleaciones de titanio, también pueden estar recubiertas con algún abrasivo o diamante para aumentar su eficacia de corte. Generalmente exhiben un diseño con un contra ángulo para permitir la visión sin interferencias y pueden tener un puerto para salida de agua. (46)

Es posible la incorporación del US desde el inicio hasta el final del tratamiento, para remoción de restauraciones, acceso al sistema de conductos, eliminación de mineralizaciones, remoción de instrumentos separados, activación de la irrigación, condensación de gutapercha y también para cirugía endodóntica. (44)

El US es una herramienta que permite al operador mejor visualización, precisión y acceso al campo operatorio, conservación del remanente dentario, aumentar la limpieza de sistema de conductos y ahorrar tiempo.(45)



IMAGEN 10 –Diferentes insertos US. Tomada de: <https://helseus.com>

5.4.3-Efectos del Ultrasonido sobre los irrigantes

5.4.3.1- Transmisión acústica

Boutsikis et al. 2015 (38) explica que el flujo de un fluido según su velocidad puede clasificarse en laminar o turbulento. El flujo laminar se caracteriza por ser en capas ordenadas y paralelas. El segundo, es un flujo turbulento, impredecible, caótico, con cambios en su velocidad y dirección. Cuando se irriga con una jeringa y aguja de 30G a una velocidad de 0.01 ml/s se genera un flujo laminar. A velocidades mayores 0,026ml/s el flujo se torna inestable pero no necesariamente turbulento.

En el interior del conducto radicular, durante un flujo inestable no está claro que se produzcan turbulencias, pero sí la formación de vórtices por la transmisión acústica. (Imagen 11) Estos últimos pueden definirse como el fenómeno en el cual un fluido circula alrededor de un eje, en las proximidades de una vibración.(47) La transmisión acústica que se produce en el interior del conducto radicular se puede establecer como micro transmisión acústica. (16)

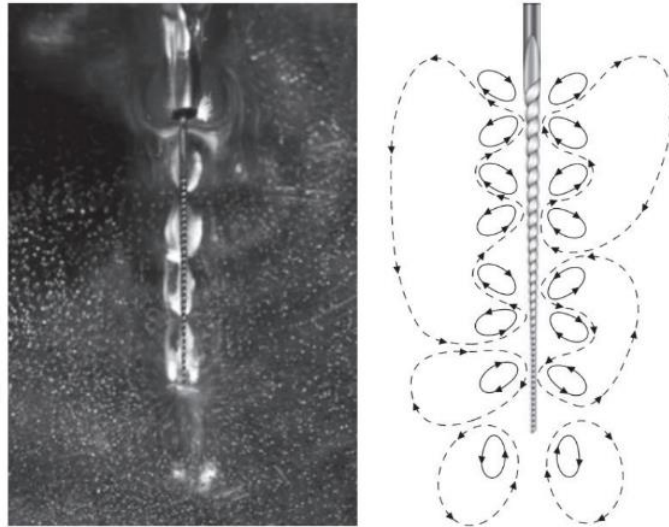


IMAGEN 11. Fotografía de la transmisión acústica a partir de un inserto #15 y su representación esquemática. Tomada:(47)

El patrón de transmisión corresponde al de nodos y antinodos, observando la mayor amplitud de movimiento en la punta del inserto. Esto se puede correlacionar con un alcance del flujo hacia el final del instrumento y obtener un mejor desempeño en el desbridamiento de la zona apical del canal (39,48)

Con este fenómeno hidrodinámico, se genera un esfuerzo cortante sobre las paredes dentinarias. Las fuerzas de cizallamiento se describen como las fuerzas tangenciales que actúan en las diferentes capas de un fluido. Mediante esta acción, las tensiones pueden alterar y dañar el material biológico. Esto resulta interesante para eliminar residuos y barrillo dentinario, así como desorganizar el biofilm en las paredes del conducto radicular. (16,48)

5.4.3.2-Cavitación

La cavitación se da por la formación de burbujas llenas de gas producidas con energía del campo ultrasónico. Estas cavidades microscópicas, son alteradas por cambios de presión, que producen el colapso e implosión, pudiendo generar una onda de choque, con zonas puntuales de presión y calor. (32,46)

Puede darse cavitación estable o transitoria. En la primera, las presiones son lineales y de baja amplitud, las burbujas oscilan y colapsan. La cavitación transitoria se caracteriza por altas presiones que conducen a un colapso violento, generando ondas de choque y aumento de la temperatura. (16,49) Esta última ocurre cuando la lima oscila libremente en el interior del canal o al darse un leve contacto con las

paredes del conducto. Cuando el instrumento tiene contacto más frecuente con la dentina se ve favorecida la cavitación estable.

La cavitación se asocia con la limpieza por su efecto en el desprendimiento del material adherido a las paredes del conducto radicular. (46)

5.4.3.3-Calor

Los insertos de US generan calor al entrar en contacto con la superficie dentinaria en la IUP, es por eso que se aconseja la refrigeración intermitente para no dañar a las estructuras dentales. También es posible minimizar el calor utilizando configuraciones bajas y medias en la unidad de US. (46)

La activación de los irrigantes con US se asocia con la generación de calor, esto fue reportado por autores como Cunningham en 1982 quien afirmó que al elevar la temperatura del NaOCl al 2.5% mejoraba su acción de disolución de tejidos. También Cameron et al. 1988 (50) observó aumento de la temperatura cerca de la punta del inserto US cuando se activó durante 30 segundos.

Sirtes et al. 2005 (51) realizaron un estudio in vitro para analizar los efectos de la temperatura sobre el NaOCl a diferentes concentraciones. Las soluciones fueron precalentadas en jeringas especiales (Keydent, Veterstetten, Alemania). Los autores observaron que al precalentar la solución de NaOCl mejoró la capacidad de disolución de tejido pulpar y la eficacia antimicrobiana contra el *Enterococcus Faecalis*, microorganismo asociado con los fracasos en lo tratamiento endodónticos.

A Al Jadaa 2009 (52) analizó la disolución de tejido pulpar necrótico con NaOCl al 2,5%, simulando canales accesorios en modelos de resina epoxi. Reportó que es posible aumentar la temperatura del NaOCl al combinarlo con PUI en el interior del conducto principal hasta $53,5 \pm 2.7$ C. Lo que mejoraría la acción del irrigante en la disolución del tejido pulpar.

De acuerdo con estos sucesos biofísicos mencionados, el US tiene la capacidad de generar una mayor velocidad y volumen de flujo, lo que aumenta el contacto de los irrigantes con las paredes del conducto, mejorando el desbridamiento comparado con la IC. (16)

5.5- Métodos para la activación o agitación de los irrigantes

5.5.1- Agitación Dinámica Manual

La activación o agitación de las soluciones irrigantes pretende mediante distintas técnicas mejorar el desbridamiento químico mecánico del sistema de conductos radiculares. (53)

La agitación dinámica manual es una técnica sencilla al alcance de todos los clínicos. (9)

Durante la etapa de limpieza, una vez preparado el conducto, la solución se deposita en el interior de este a través de una jeringa y una aguja. La inserción libre de la aguja puede llevarse a cabo de forma pasiva o activa, con movimientos de entrada y salida en el espacio del conducto radicular. (43)

Para la ADM se puede utilizar, una lima endodóntica o un cono de gutapercha ajustado en la longitud de trabajo. Se deben efectuar movimientos controlados, de entrada y salida, cortos (2 a 3 mm) y suaves dentro del espacio del canal hasta la longitud de trabajo, aproximadamente 100 movimientos por minuto.(54) (*Imagen 12*)

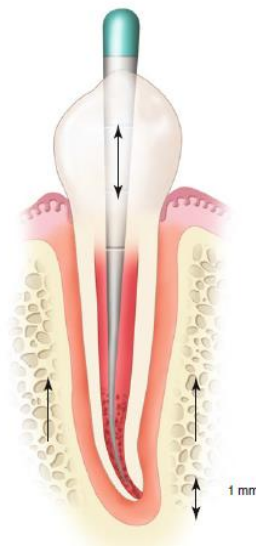


IMAGEN 12- Esquema representativo de ADM. Tomada: (32)

La selección de un cono de gutapercha en correspondencia con el tamaño y conicidad de la preparación favorece el desplazamiento del aire atrapado en el tercio

apical. También, la conicidad del canal, permite el reflujo de la solución durante la agitación.(55)

El movimiento produce el desplazamiento hidrodinámico y la agitación de la solución.

(56) De esta forma, mejora la penetración y la distribución del irrigante dentro del sistema radicular, rompiendo las burbujas de aire que puedan estar en el interior. (9)

5.5.2-Activación Ultrasónica de los Irrigantes

5.5.2.1- Irrigación Ultrasónica Pasiva

Esta técnica fue descrita por Weller et al. en 1980, quien utilizó el término “pasivo” para hacer referencia a la acción no cortante del instrumento. La denominación hace referencia a la irrigación sin conformación simultánea del conducto radicular.(16,18,46) Sin embargo resulta una técnica activa que busca aumentar la eficacia de la limpieza, mediante la agitación del irrigante y el transporte del mismo a zonas alejadas del conducto principal. (4)

La irrigación ultrasónica pasiva (IUP), se puede clasificar de acuerdo con el flujo del líquido que puede ser intermitente o continuo. El primero es a través de una jeringa y una aguja mientras que el segundo es directamente desde la punta ultrasónica.(43)

La dispensación con jeringa y aguja permite un mayor control del volumen de la solución.(37) Cuando la circulación es continua se denomina irrigación ultrasónica continua y se abrevia IUC.

El modo de empleo de la IUP, implica depositar la solución con jeringa y aguja en la cámara pulpar, para luego efectuar la activación del inserto a un nivel de potencia baja o media.(57)

Para transmitir la energía ultrasónica al irrigante en el interior del conducto radicular se mencionan dos métodos. Uno consiste en aplicar la vibración sobre el vástago de una lima pequeña, número 15 o 20 que conduce las vibraciones a la solución de irrigación. Este modo aumenta la posibilidad de generar cortes en la dentina con la lima. (45) Por eso se sugiere la otra alternativa, que consiste en realizar la IUP con insertos ultrasónicos específicos para la etapa de irrigación. (*Imagen 13*)

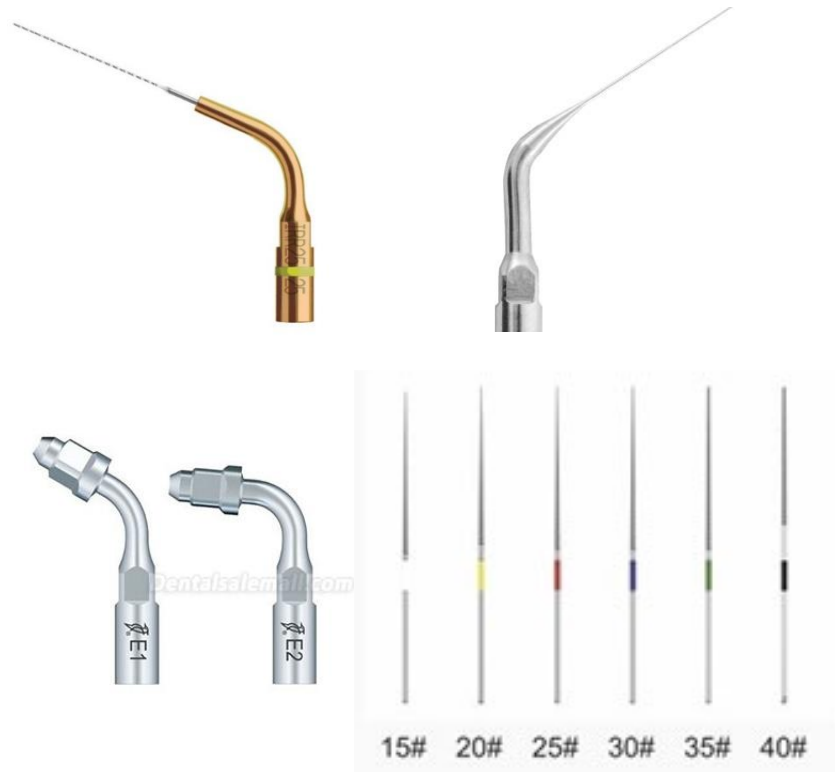


IMAGEN 13- Insertos ultrasónicos para IUP. (De izquierda a derecha)

.IrriSafe: Lima para irrigación, diferentes longitudes (21mm y 25 mm) conicidad 2%. Tomada de:

<https://www.acteongroup.com/es/products/ultrasonidos/odontologia-ultrasonica/insertos-ultrasonicos/endodoncia/>

.E1- Irrisonic: Inserto ultrasónico, equivalente a una lima K #20. Tomada de:

<https://helse.com.br/products/e1-irrisonic/>

- E1 E2Woodpecker, insertos #15 #20 #25 #30 #35 #40. Tomada de:

<https://www.dentalsalemall.com/10Pcs-Woodpecker-Scaler-Endo-Tip-E1-E2-E3-E3D-E4-E4D-E5-E5D-E8-E9-E10D-E11-E11D-E14-2347.html>

Según la literatura, un requisito necesario para esta técnica es que exista suficiente espacio en el conducto radicular, para permitir la libre oscilación del instrumento y alcanzar los efectos de corriente acústica y cavitación. Por lo que la IUP debe efectuarse luego de realizada la conformación mecánica del conducto radicular. (58) Con la cámara y conductos empapados en NaOCl, se debe colocar el inserto ultrasónico a 2 o 3 mm del ápice. (Imagen 14)

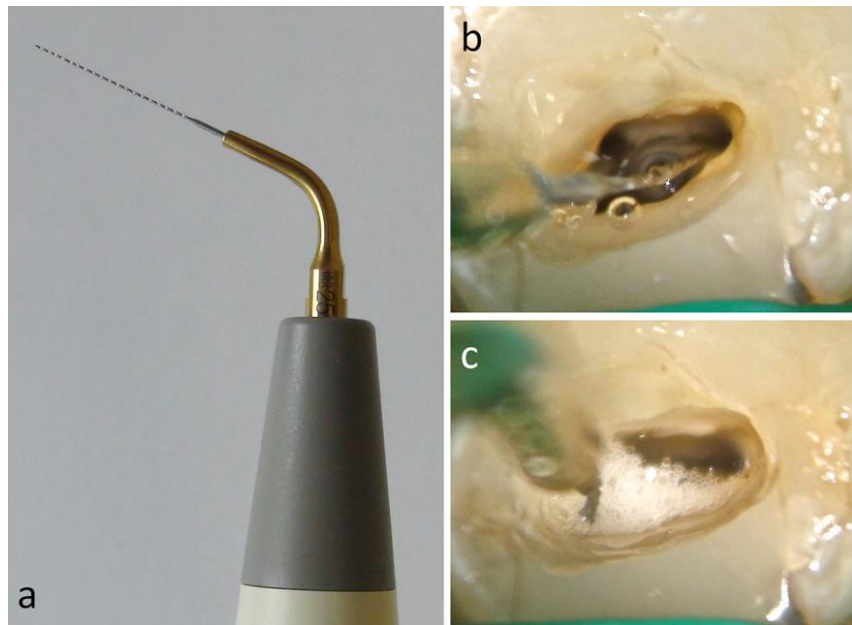


IMAGEN 14- a- Pieza de mano con inserto ultrasónico para IUP b- inserto colocado en el interior del conducto conformado c- inserto ultrasónico energizado con US. Tomada de: (46)

Un trabajo sobre conductos simulados evaluó la relación entre diferentes profundidades de inserción del inserto y la eficacia para eliminar restos de dentina en estos canales artificiales. Se lograron mejores resultados de limpieza al colocar el instrumento (Irrisafe de 21mm, a 30kHz durante 10 segundos) a 1 y 2mm del límite apical. (59)

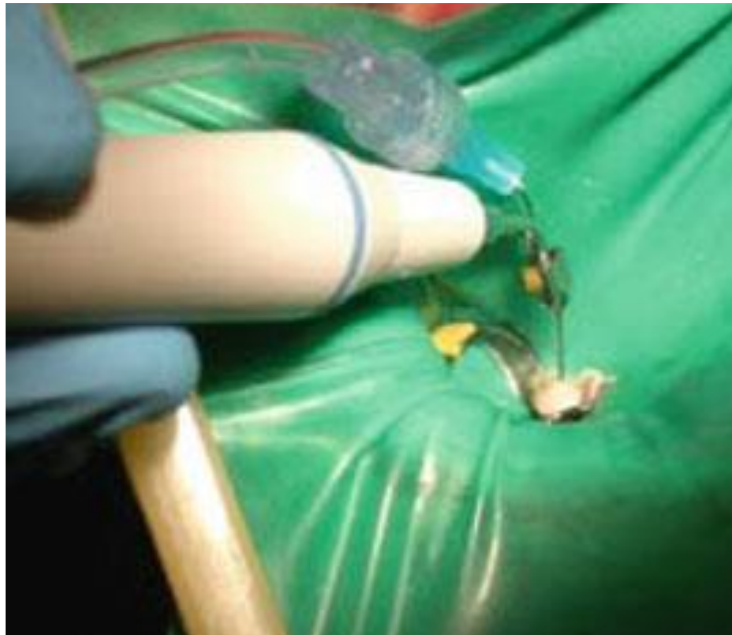
La acción de lavado del NaOCl puede mejorar con 30 segundos a 1 minuto de activación de IUP, obteniéndose canales con menos desechos que en aquellos sin activación o con activación sónica.(60) Siquiera Jr. y Rôças 2000, proponen diferentes protocolos de irrigación final para tratamientos de una sesión, uno de ellos es la activación final de NaOCl con ultrasonido seguido de un enjuague con CHX. (27)

Una estrategia popular es la activación en 3 ciclos de 20 segundos o 3 ciclos de 10 segundos, por cada canal, con la renovación intermitente del irrigante. (9,57)

5.5.2.2-Irrigación Ultrasónica Continua

El flujo se origina desde un puerto de agua en el inserto ultrasónico, sin la necesidad de realizar la reposición con jeringa y aguja. (61)

Gutarts et al. 2005 desarrollaron un sistema para emplear esta técnica. Utilizaron una aguja de irrigación adaptada a un dispositivo de US piezoeléctrico. (62) El suministro sin interrupciones, ofrece irrigante fresco todo el tiempo, lo cual es beneficioso por la inestabilidad y rápido consumo del cloro.(43) Con el uso de esta aguja activada durante 1 minuto luego de la conformación, obtuvieron resultados satisfactorios en la limpieza de conductos mesiales de molares mandibulares. (*Imagen 15*)



*IMAGEN 15- Aguja de irrigación adaptada a un dispositivo piezoeléctrico. IUC.
Tomada de: (32) pag 184.*

Algunos ejemplos de puntas para IUC son, la punta ultrasónica ProUltra® Piezoflow™ (Dentsply Tulsa Dental) es de acero inoxidable, calibre 25G y extremo abierto. Su uso es exclusivo para canales instrumentados, se conecta mediante una llave a la pieza de mano y se configura en potencia media. (*Imagen 16*) El sistema VPro StreamClean™ Flo-thru (Vista Dental Products) es un inserto fabricado en níquel titanio, con extremo abierto, calibre 30 G y estrías externas. Si bien son complementos útiles, requieren de una aparatología específica y de acuerdo con lo mencionado anteriormente se deben tomar medidas de seguridad considerando que son instrumentos de punta abierta (*Imagen 17*)



IMAGEN 16- . Dentsply Tulsa Dental Specialties ProUltra® Piezo flow™ Ultrasonic tip (Dentsply Tulsa Dental). Tomada de: (32) pag 185

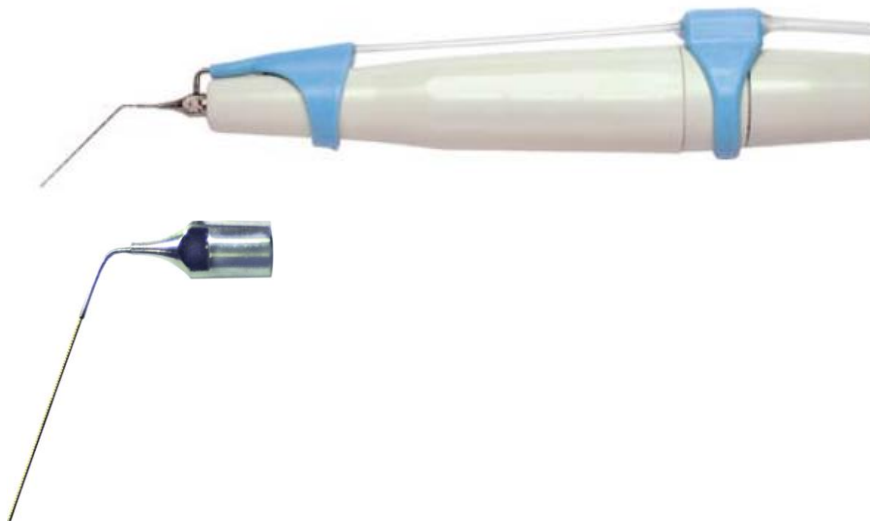


IMAGEN 17- Vista Dental StreamClean™ Flo-thru (Vista)
.Tomada de:

https://www.vistaapex.com/content/abstracts/scientific_guide_streamclean_72810.pdf/

Tyson O. et al. 2012 realizaron un estudio in vitro, donde compararon la irrigación convencional con la IUC. En los resultados pudieron apreciar menor cantidad de desechos cuando se aplicó un flujo constante de irrigante.(61)

Se puede destacar el ahorro de tiempo, el permanente frescos del irrigante y la agitación constante de la solución en el interior del conducto, brindando una limpieza eficiente. En contraparte se debe considerar que con este modo de empleo no es posible controlar el volumen ni la profundidad de irrigación.

5.5.3.- Otros dispositivos para la activación de los irrigantes

Los estudios e investigaciones relacionados con la irrigación persiguen mejorar el acceso, la limpieza y la efectividad de los irrigantes durante la terapia endodóntica. Existen otras formas de activación de los irrigantes como los son: EndoActivator, EDDY®, XP-Endo Finisher, LÁSER.

5.5.3.1- EndoActivator (Dentsply Tulsa Dental, Tulsa OK)

EndoActivator (Dentsply Tulsa Dental, Tulsa OK) es un dispositivo impulsado sónicamente, creado para producir agitación de las soluciones durante la fase de irrigación. Consta de una pieza de mano portátil, a batería y tres tipos de puntas de diferentes tamaños (15/.02, 25/.04, 35/.04) (63) Estos insertos son de polímero, flexibles y suaves, por lo que no producen corte de la dentina.(34) (Imagen 18) Tienen el inconveniente de ser radiotransparentes, por lo que, en caso de separarse dentro del conducto es difícil su identificación y localización.(43)



*IMAGEN 18: Dispositivo EndoActivator y sus puntas: 15/.02, 25/.04, 35/.04.
Tomada de:(63)*

Los dispositivos sónicos se utilizan a una frecuencia de oscilación variable entre 1-6kHz. Significa que se encuentran dentro del espectro audible por el ser humano. Producen una oscilación mecánica, en el extremo de los insertos. (32,64)

5.5.3.2 - EDDY® (VDW, Munich Alemania)

Se trata de un sistema de activación sónica, el cual se activa a una frecuencia de 5000Hz-6000Hz, accionado por una pieza de mano en un cavitador neumático.(53)
Las puntas tamaño 25.04, son de uso único y vienen estériles. La longitud es de 28mm con marcas a diferentes alturas y la conicidad en su punta es de 0.2mm.
(Imagen 19)



*IMAGEN 19- Sistema sónico EDDY® Tomada de:
https://www.dentallink.com.uy/images/pdf/Puntas_EDDY.pdf*

El material es una poliamida flexible que ofrece la ventaja de no ser cortante, por lo que resultan seguras al contactar con la dentina. Además, pueden producir efectos de transmisión acústica y cavitación, los cuales tienen potencial para eliminar residuos, reducir la carga bacteriana y mejorar la disolución de material orgánico. Varios estudios informan un nivel de eficacia similar al de IUP. (53,65) Para su empleo debe dispensar la solución mediante jeringa y aguja, colocar el inserto Eddy Tip a 1 mm de la longitud de trabajo para luego efectuar la activación con movimientos de entrada y salida. (66)

5.5.3.3- XP-Endo Finisher (FKG Dentarie, LaChaux-des Fonds, Suiza)

Es un instrumento fabricado en Níquel Titanio, con un tamaño ISO 25 y conicidad cero. Su aleación de NiTi tiene un tratamiento térmico (MaxWire) que le permite cambiar su forma de recto a curvo cuando se somete a la temperatura intracanal. (66) En su fase austenítica, su punta curva al girar puede expandirse 3mm en los últimos 10mm de longitud.(67) Esta propiedad permite aumentar la flexibilidad y la resistencia a la fatiga cíclica, lo cual favorece su aplicación, adaptándose a conductos curvos. (Imagen 20)



IMAGEN 20- XP-Endo Finisher, FKG. Tomada de:(67)

La entrega del irrigante se debe realizar con jeringa y aguja en el espacio de la cámara y conductos luego de realizada la conformación. El fabricante recomienda la configuración del motor eléctrico en 1000rpm y torque de 1Nmc con movimiento de rotación continua. Se debe posicionar a 1mm de la longitud de trabajo y activar con movimientos de entrada y salida de 7 a 8mm de amplitud, de forma lenta y suave.(68)

5.5.3.4- Irrigación activada por LÁSER

Esta innovadora alternativa funciona mediante la transmisión de luz para la activación de los irrigantes, con el fin de colaborar en el desbridamiento de los conductos.(69) (Imagen 21) Las puntas PIPS (Photonon-Induced Photoacoustic Streaming) están diseñadas para ser usadas en Endodoncia con láser de Er: YAG (erbio: itrio-aluminio-granate) que es un tipo específico de láser, con una longitud de onda de 2490nm que se caracteriza por su alta absorción en agua. (70)

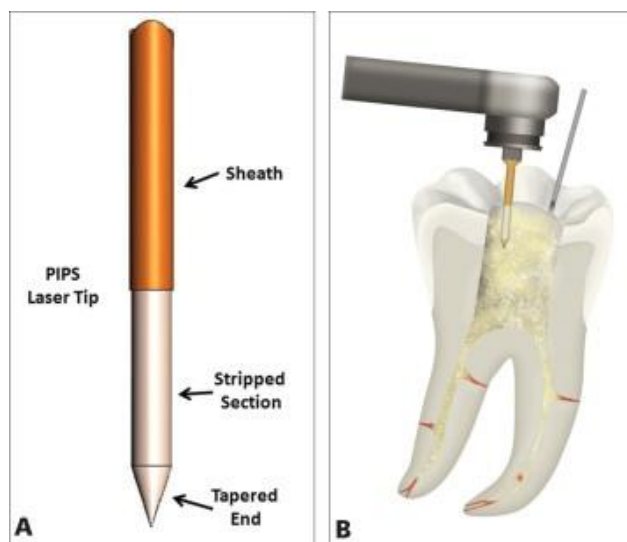


IMAGEN 21 - A. Imagen de una punta de transmisión fotoacústica inducida por fotones (PIPS) con un extremo cónico y una sección pelada de 4 milímetros. B. Posicionamiento correcto de la punta PIPS solo en la abertura de acceso coronal, con la punta de irrigación suministrando la solución durante la irrigación. Tomada de: (70)

Con la transmisión fotoacústica inducida por fotones se aprecian resultados efectivos en la reducción de la película bacteriana de las paredes del conducto radicular en comparación con protocolos de irrigación convencional y también con IUP. (69) Los efectos térmicos que produce, alteran la pared bacteriana, con la consecuente acción bactericida. La absorción de luz láser por el NaOCl promueve la formación de burbujas de vapor que colapsan y producen cavitación. Este suceso genera mayor intercambio de fluido, promoviendo la eliminación de desechos. (9,71)

Para su empleo es suficiente colocar la fibra a nivel de la cámara pulpar, sin la necesidad de introducir la punta en el interior del conducto. La solución se deposita con aguja y jeringa durante el procedimiento. La utilización de PIPS es un complemento eficaz para mejorar la efectividad de las soluciones utilizadas habitualmente durante la terapia endodóntica. (4,12,28)

6- DISCUSION

La irrigación tiene un papel fundamental, lo que hace imperioso realizar un protocolo que mejore la calidad de desinfección final de los tratamientos. Es considerada por algunos autores como la acción más importante, sobre todo para eliminar microorganismos del conducto radicular. (4,12,28)

La eficacia del proceso de irrigación va a ser consecuencia de la combinación adecuada de la solución irrigante y de la técnica de irrigación utilizada. Al tener en

cuenta esto, se puede mejorar los resultados de limpieza y del tratamiento endodóntico. (72)

De Gregorio en 2015 (73) a través de una encuesta web, consultó a Odontólogos generales y Endodoncistas diferentes aspectos sobre la irrigación durante los tratamientos de Endodoncia. La elección del NaOCl como irrigante fue la preferencia de la mayoría de los profesionales que participaron. Entre los Odontólogos generales predominó el uso de NaOCl en concentraciones inferiores al 2.5%, y la aplicación de las técnicas de irrigación aprendidas en su formación. Los Endodoncistas optaron por concentraciones mayores al 2.5% de NaOCl y buscaron aplicar técnicas de irrigación según las actualizaciones.

Está claro que el NaOCl es el irrigante de elección a nivel mundial, considerado como el estándar de oro por sus propiedades no superadas hasta el momento por otra sustancia. Se considera que por sí solo no puede realizar la disolución de la porción inorgánica, será necesario complementar su acción con un agente quelante como el EDTA 17% o ácido cítrico. (63)

La irrigación por presión positiva es de las técnicas más utilizadas, (22,74) seguramente por ser la más difundida, estar al alcance de todos los clínicos y resultar un procedimiento sencillo. Existen factores que afectan la eficiencia de este procedimiento como son: el flujo del irrigante, la interacción de éste con las paredes dentinarias, la conformación y conicidad del conducto y el vapor lock. (38,40,75,76)

Por otra parte, las agujas que se utilizan pueden ser de salida abierta o con ventilación lateral. (75) Mientras que las primeras brindan mayor penetración del irrigante hacia apical, con las de salida lateral el chorro genera mayor tensión de cizallamiento sobre la pared dentinaria. (22)

Chen et al.2014 (76) coincide con estudios previos sobre el posicionamiento de la aguja de ventilación lateral a 1mm de la longitud de trabajo y las de salida abierta a 2mm. La evidencia actual se inclina por las agujas de ventilación lateral,(11) sacrificando el alcance y la penetración de las soluciones, para optar por un procedimiento más seguro en relación a la extrusión apical. (77) Otro punto a tener en cuenta, es la utilización de agujas de pequeño calibre (27G- 30G) y flexibles que permitan alcanzar la posición ideal en aquellos conductos que presenten curvaturas.(4)

Los irrigantes aplicados con jeringa y aguja, no son capaces de extenderse por las irregularidades de la anatomía interna.(64) La evidencia ha demostrado que este método tradicional de limpieza no es suficiente, lo cual puede tener un impacto negativo en el resultado del tratamiento endodóntico. (21)

La dificultad de los irrigantes para llegar a la zona apical y sus ramificaciones se puede ver comprometida. Cuando se produce el fenómeno vapor lock se produce el atrapamiento de aire que impide el desbridamiento adecuado y la eliminación de residuos, afectando la limpieza del canal.(78) Sin embargo, autores como Boutsoukis, 2015 (38) desestiman la relevancia de la formación de burbujas a nivel apical. Propone que las mismas se pueden romper fácilmente con una aguja cerca del límite de trabajo o aumentando el flujo de irrigación 0,26ml/s.

La activación dinámica manual se puede considerar una técnica rentable, debido a que no requiere equipamiento adicional (55). Se pretende agitar el irrigante y remover el aire atrapado para aumentar la penetración y el contacto con todas las paredes, pero no resulta suficiente para lograr mejorar efectivamente la limpieza del sistema de conductos. (9) En comparación con otras técnicas se ha visto que la ADM puede producir más dolor postoperatorio entre las 6 y 24 horas cuando se realiza durante el protocolo de irrigación final. Esto puede ser provocado por la mayor extrusión de desechos e irrigante hacia el periápice. (56)

Si bien existen resultados muy heterogéneos, ya que no hay una estandarización de protocolos, los autores recomiendan la activación de las soluciones de irrigación. Las diferentes técnicas garantizan que la solución llegue a las áreas más alejadas del conducto principal eliminando de manera más eficiente residuos y microorganismos que con la Irrigación convencional. (34) Para este fin se han desarrollado diferentes dispositivos y técnicas combinadas.

El sistema ultrasónico no es efectivo para la etapa de conformación de los conductos en Endodoncia. (16) Muchos son los estudios que lo han propuesto como alternativa para la limpieza y desinfección. La activación de los irrigantes de forma intermitente o continua luego de la instrumentación, es una técnica comúnmente utilizada por los Endodoncistas.(79,80)

Los estudios que comparan la IC con IUP, concluyen que la activación del NaOCl mediante un inserto US, logra canales más limpios, con menor cantidad de restos pulpares, tejido dentinario, así como bacterias. (16,62,80–83)

De Gregorio et al. 2010 (84) evaluaron la penetración del NaOCl 5,25% solo o combinado con EDTA al 17% en canales laterales simulados. Aplicaron diferentes técnicas de activación sónica y ultrasónica. Los autores observaron una irrigación más efectiva a los 4,5 mm y 2mm de la longitud de trabajo cuando se realizó la activación. El alcance con la IC se limitó a la salida de la aguja y el complemento con EDTA 17% no resultó en una mejor distribución a nivel lateral. Poco tiempo después, Muñoz et al.2012 (85) estudiaron in vivo, la profundidad de penetración de la solución

de NaOCl al 5,25% en conductos mesiales de primeros y segundos molares inferiores. Ellos observaron que utilizando la IC con una aguja de ventilación lateral 27G, posicionada a 2mm de la longitud de trabajo, el avance del irrigante no superaba entre 0 y 1,1 mm más allá de la salida de la aguja. Con el uso de IUP mediante un inserto IrriSafe (20/25mm) durante 30s, obtuvieron resultados significativamente mejores en comparación con la IC. Por lo que la evidencia confirma que con la activación se logra una mejor distribución de las soluciones en el sistema de conductos.

El mayor esparcimiento y el contacto con áreas más extensas de la superficie en el interior de sistema radicular, es posible que esté asociado con la reducción de microorganismos y de unidades formadoras de colonias bacterianas (UFC). El problema de la desinfección y el desbridamiento de los conductos radiculares fue evaluado por Burleson et al. 2007(86) en un estudio in vivo de molares con necrosis pulpar. Los autores obtuvieron una limpieza del canal y del istmo con porcentajes más altos a favor del grupo en cual se aplicó una técnica manual/rotatoria/ultrasonidos en comparación a la técnica manual/rotatoria. La solución utilizada en todos los grupos fue el NaOCl al 2%, y la irrigación con US se aplicó con un flujo continuo. Concluyeron que la activación del NaOCl 2% durante 1 minuto con US, contribuyó significativamente a mejorar los valores de limpieza, aunque a nivel del istmo el desbridamiento no siempre fue completo.

Sin embargo, de una revisión sistemática que incluyó 48 estudios, los resultados son controversiales. Los autores expusieron que la irrigación US no fue más eficiente para la curación de la periodontitis apical en dientes con un solo conducto. También plantearon, que no es claro que mediante la activación US se logre reducir la carga bacteriana en comparación con la IC. Pero sí afirmaron que es más efectiva en la eliminación de restos pulpares y de tejidos duros.(57)

A propósito del flujo de irrigación Van der Sluis et al.2006 (87) demostraron que la irrigación ultrasónica pasiva fue tan eficaz como la irrigación continua en la eliminación de residuos en el tercio apical de conductos preparados. Otro estudio experimental, determinó que no hubo diferencias significativas al aplicar IUP o IUC utilizando NaOCl al 2.5% como irrigante, luego de la instrumentación de 40 premolares unirradiculares. Los resultados arrojaron que la disminución de unidades formadoras de colonias para el microorganismo *Enterococcus Faecalis* fueron de 98,9% para IUP y 99.2% con IUC.(88)

La reducción de microorganismos es probable que se produzca por la acción antibacteriana del NaOCl junto con los efectos de transmisión acústica (89) y cavitación que se producen durante la IUP.(86)

No hay un protocolo sobre el tiempo adecuado de activación, pero si se han encontrado mejores resultados de eliminación de biofilm bacteriano tras efectuar algún ciclo de activación que cuando no se aplicó ninguno.(90,91) También se observó in vitro, de dientes humanos extraídos, que, al aumentar la intensidad durante la IUP, es decir la amplitud de oscilación del inserto ,mejoraba la limpieza. (92)

Por otra parte, para que los efectos de cavitación y transmisión acústica sean eficientes, (47,49) el inserto ultrasónico debe ser capaz de oscilar sin interferencias. Cuando esto no es posible, disminuye la velocidad de flujo, se vuelve menos intenso(16) y como consecuencia disminuyen las fuerzas de cizallamiento sobre las paredes dentinarias.

Se menciona que el contacto de las limas con las paredes del canal radicular ocurre el 20% del tiempo. (93)

Sin bien los nuevos diseños de instrumental buscan respetar la anatomía, siguen siendo rígidos de metal, por lo que el contacto provoca inevitablemente el desgaste descontrolado de la dentina alterando la morfología interna. Como consecuencia secundaria, se altera la dinámica ideal de la irrigación activada y amortigua la vibración, disminuyendo su eficacia. (63,94,95)

Esto plantea la preocupación de que la IUP no sea tan pasiva, sobre todo en aquellos conductos curvos, limitando la eficacia de la activación a la porción recta del canal debido a la imposibilidad de precurvar las limas ultrasónicas.(65)

Actualmente se analizan algunas alternativas para superar las limitaciones mencionadas de los US. Entre ellas se encuentran el Sistema Eddy, XPendo Finiher y la activación Láser. (96–98)

comparó los sistemas IUP y XPE para eliminar restos de obturación en canales radiculares ovalados. En los resultados, observó que, si bien ninguno de los dos métodos eliminó por completo los restos de material, XP-Endo Finisher fue superior que IUP lo cual se atribuyó a la acción mecánica y a la capacidad de expansión de la punta del instrumento.

Según Su 2020 (99) se puede destacar de la irrigación activada mediante PIPS, ejerce una velocidad de flujo superior a la generada durante la IUP, un mayor alcance en profundidad del irrigante en el interior del conducto y el recambio constante de la solución. Esto aumenta el esfuerzo cortante sobre la pared dentinaria mejorando el desbridamiento.

Es importante destacar que muchos de los estudios que se analizan, se realizaron en base a modelos artificiales o CFD, lo que representa una limitación ya que la morfología y comportamiento no es igual que en dientes humanos. Por otra parte, la

irrigación en Endodoncia tiene muchas variables que complejizan el análisis de los datos y la determinación de un protocolo ideal.

7-CONCLUSIONES

Disminuir la carga microbiana y la mayor cantidad de residuos permite lograr resultados más predecibles, persiguiendo el objetivo de que la pieza dental pueda permanecer en la cavidad oral cumpliendo su función y una estética adecuada.

La conformación manual o rotatoria por sí sola, no es suficiente para alcanzar los estándares de desinfección adecuados, por eso la irrigación con agentes químicos cumple un rol fundamental. El NaOCl es la solución irrigante de elección sin discusión y su acción se debe complementar algún agente quelante, como EDTA 17% o ácido cítrico.

Los avances científicos han demostrado que además de las soluciones de irrigación, es fundamental el método de irrigación utilizado. La Irrigación convencional, es una de las técnicas más difundida, pero no tiene la capacidad de penetración adecuada para lograr alcanzar las complejidades de la anatomía interna.

Actualmente el US a partir de dispositivos piezoeléctricos es una tecnología versátil en Endodoncia. Es un método ampliamente empleado. Idealmente con insertos específicos, luego de la conformación, las técnicas pueden ser realizadas con un flujo continuo o intermitente, sin mayores diferencias en cuanto a los resultados de limpieza. Los efectos hidrodinámicos del US al actuar sobre los irrigantes potencian la limpieza y el desbridamiento del canal radicular.

Los investigadores y los Endodncistas, junto con la tecnología, deben continuar en la búsqueda para mejorar las técnicas y los protocolos. Durante la práctica clínica, se debe considerar a la irrigación como un pilar fundamental que compromete el éxito y futuro de los tratamientos.

8- BIBLIOGRAFIA

1. American Association of Endodontists. Guide to Clinical Endodontics. 6Ed. 2019. Disponible en: <https://www.aae.org/specialty/clinical-resources/guide-clinical-endodontics/>
2. Sahli CC, Aguadé EB. Endodoncia: Técnicas clínicas y bases científicas. 4ta Edición. España. Elsevier Health Sciences; 2019, Capítulo 1.
3. Schilder H. Cleaning and shaping the root canal. Dent Clin North Am. 1974(2):269-96.
4. Boutsoukis C, Arias-Moliz MT. Present status and future directions - irrigants and irrigation methods. Int Endod J. 2022;55 Suppl 3(Suppl 3):588-612.
5. Lopes HP, Siqueira Jr.J. Endodontia biológica e técnica. Río de Janeiro. Elsevier; 2017.Capítulo 14.
6. Gulabivala K, Patel B, Evans G, Ng Y. Effects of mechanical and chemical procedures on root canal surfaces. Endod Top. 2005;10(1):103-22.
7. Peters OA, Laib A, Göhring TN, Barbakow F. Changes in root canal geometry after preparation assessed by high-resolution computed tomography. J Endod. 2001;27(1):1-6.
8. Estrela. C. Ciencia Endodóntica. Artes Médicas Latinoamérica. 2005. Capítulo 9.
9. Plotino G, Cortese T, Grande NM, Leonardi DP, Di Giorgio G, Testarelli L, Gambarini G. New Technologies to Improve Root Canal Disinfection. Braz Dent J. 2016;27(1):3-8
10. Grossman LI. Irrigation of Root Canals. J Am Dent Assoc. 1943;30(23):1915-7.
11. Park E, Shen Y, Haapasalo M. Irrigation of the apical root canal. Endod Top. 2012;27(1):54-73.
12. Versiani MA, Leoni GB, Steier L, De-Deus G, Tassani S, Pécora JD, de Sousa-Neto MD. Micro-computed tomography study of oval-shaped canals prepared with the self-adjusting file, Reciproc, WaveOne, and ProTaper universal systems. J Endod. 2013;39(8):1060-6.

13. Zinner DD. Recent ultrasonic dental studies, including periodontia, without the use of an abrasive. *J Dent Res.* 1955;34:748–9.
14. Martin H, Cunningham W. Endosonics. The ultrasonic synergistic system of endodontics. *Endod Dent Traumatol.* 1985;1(6):201-6
15. Cunningham WT, Martin H, Forrest WR. Evaluation of root canal débridement by the endosonic ultrasonic synergistic system. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1982;53(4):401-4.
16. Van der Sluis LW, Versluis M, Wu MK, Wesselink PR. Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *Int Endod J.* 2007;40(6):415-26
17. Perrone, J Instrumentación de conductos radiculares con ultrasonido. *Odonto Posgrado.* 1989; 2(3): 45-48.
18. Weller RN, Brady JM, Bernier WE. Efficacy of ultrasonic cleaning. *J Endod.* 1980 ;6(9):740-3
19. García Delgado A., Martín-González J., Castellanos-Cosano L., Martín Jiménez M., Segura-Egea J.J.. Sistemas ultrasónicos para la irrigación del sistema de conductos radiculares. *Av Odontoestomatol.* 2014; 30(2): 79-94.
20. Boutsoukias C, Lambrianidis T, Kastrinakis E. Irrigant flow within a prepared root canal using various flow rates: a Computational Fluid Dynamics study. *Int Endod J.*;2009;42(2):144-55.
21. Haapasalo M, Shen Y, Qian W, Gao Y. Irrigation in endodontics. *Dent Clin North Am.* 2010;54(2):291-312.
22. Loroño G, Zaldivar JR, Arias A, Cisneros R, Dorado S, Jimenez-Octavio JR. Positive and negative pressure irrigation in oval root canals with apical ramifications: a computational fluid dynamics evaluation in micro-CT scanned real teeth. *Int Endod J.* 2020;53(5):671-679.
23. American Association of Endodontists. The *Glossary of Endodontic Terms* is regularly updated to reflect advancements in endodontics. Chicago. 2020. Disponible en: <https://www.aae.org/specialty/clinical-resources/glossary-endodontic-terms/>

24. Basrani BR, Manek S, Sodhi RN, Fillery E, Manzur A. Interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate. *J Endod.* 2007;33(8):966-9.
25. Ricucci D, Siqueira JF Jr, Bate AL, Pitt Ford TR. Histologic investigation of root canal-treated teeth with apical periodontitis: a retrospective study from twenty-four patients. *J Endod.* 2009;35(4):493-502.
26. Ricucci D, Loghin S, Siqueira JF Jr. Exuberant Biofilm infection in a lateral canal as the cause of short-term endodontic treatment failure: report of a case. *J Endod.* 2013;39(5):712-8.
27. Siqueira JF Jr, Rôças IN, Favieri A, Lima KC. Chemomechanical reduction of the bacterial population in the root canal after instrumentation and irrigation with 1%, 2.5%, and 5.25% sodium hypochlorite. *J Endod.* 2000;26(6):331-4.
28. Haapasalo M, Shen Y, Wang Z, Gao Y. Irrigation in endodontics. *Br Dent J.* 2014;216(6):299-303.
29. Portenier I, Waltimo T, Ørstavik D, Haapasalo M. The susceptibility of starved, stationary phase, and growing cells of *Enterococcus faecalis* to endodontic medicaments. *J Endod.* 2005;31(5):380-6.
30. Cai C, Chen X, Li Y, Jiang Q. Advances in the Role of Sodium Hypochlorite Irrigant in Chemical Preparation of Root Canal Treatment. *Biomed Res Int.* 2023 13;2023:8858283.
31. Estrela C, Estrela CR, Barbin EL, Spanó JC, Marchesan MA, Pécora JD. Mechanism of action of sodium hypochlorite. *Braz Dent J.* 2002;13(2):113-7.
32. Basrani. B, P, G. Malkhassian. Update of Endodontic Irrigating Solutions. In: Basrani B, editor. *Endodontic Irrigation: Chemical Disinfection of the Root Canal System Irrigation.* Toronto , ON, Canada: Springer International Publishing Switzerland; 2015. Capítulo 5. (99-110)
33. Haapasalo M, Qian W, Shen Y. Irrigation: beyond the smear layer. *Endod Top.* ;2012;27(1):35-53.
34. Virdee SS, Seymour DW, Farnell D, Bhamra G, Bhakta S. Efficacy of irrigant activation techniques in removing intracanal smear layer and debris from mature

- permanent teeth: a systematic review and meta-analysis. *Int Endod J.* 2018 ;51(6):605-621.
35. Seidberg BH, Schilder H. An evaluation of EDTA in endodontics. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1974;37(4):609-20.974;37(4):609-20.
 36. Hülsmann M, Heckendorff M, Lennon A. Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indications for their use. *Int Endod J.* 2003;36(12):810-30.
 37. Zehnder M. Root canal irrigants. *J Endod.* 2006;32(5):389-98.
 38. Boutsoukis C, van der Sluis LWM. Syringe irrigation: blending endodontics and fluid dynamics. In Basrani B, editor, *Endodontic irrigation: Chemical Disinfection of the Root Canal System Irrigation.* Toronto, ON Canadá: Springer International Publishing Switzerland; 2015. Capítulo 3. (45-64)
 39. Gulabivala K, Ng YL, Gilbertson M, Eames I. The fluid mechanics of root canal irrigation. *Physiol Meas.* 2010;31(12):R49-84.
 40. Chow TW. Mechanical effectiveness of root canal irrigation. *J Endod.* 1983;9(11):475-9
 41. Boutsoukis C, Lambrianidis T, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Wesselink PR, van der Sluis LW. The effect of needle-insertion depth on the irrigant flow in the root canal: evaluation using an unsteady computational fluid dynamics model. *J Endod.* 2010;36(10):1664-8.
 42. Hülsmann M, Hahn W. Complications during root canal irrigation--literature review and case reports. *Int Endod J.* 2000;33(3):186-93.
 43. Gu LS, Kim JR, Ling J, Choi KK, Pashley DH, Tay FR. Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *J Endod.* 2009;35(6):791-804.
 44. Chen YL, Chang HH, Chiang YC, Lin CP. Application and development of ultrasonics in dentistry. *J Formos Med Assoc.* 2013;112(11):659-65.
 45. Plotino G, Pameijer C, Mariagrande N, Somma F. Ultrasonics in Endodontics: A Review of the Literature. *J Endod.* 2007;33(2):81-95.
 46. Park E. Ultrasonics in endodontics. *Endod Top.* 2013 Sep;29(1):125-59.

47. Ahmad M, Pitt Ford TR, Crum LA. Ultrasonic debridement of root canals: Acoustic streaming and its possible role. *J Endod.* 1987;13(10):490-9.
48. Walmsley AD. Ultrasound and root canal treatment: the need for scientific evaluation. *Int Endod J.* 1987;20(3):105-11.
49. Roy RA, Ahmad M, Crum LA. Physical mechanisms governing the hydrodynamic response of an oscillating ultrasonic file. *Int Endod J.* 1994;27(4):197-207.
50. Cameron JA. The effect of ultrasonic endodontics on the temperature of the root canal wall. *J Endod.* 1988;14(11):554-9.
51. Sirtes G, Waltimo T, Schaetzle M, Zehnder M. The effects of temperature on sodium hypochlorite short-term stability, pulp dissolution capacity, and antimicrobial efficacy. *J Endod.* 2005;31(9):669-71.
52. Al-Jadaa A, Paqué F, Attin T, Zehnder M. Necrotic pulp tissue dissolution by passive ultrasonic irrigation in simulated accessory canals: impact of canal location and angulation. *Int Endod J.* 2009;42(1):59-65.
53. Urban K, Donnermeyer D, Schäfer E, Bürklein S. Canal cleanliness using different irrigation activation systems: a SEM evaluation. *Clin Oral Investig.* 2017;21(9):2681-2687.
54. Machtou P. L'irrigation en endodontie [Irrigation in endodontics]. *Actual Odontostomatol (Paris).* 1980;34(131):387-94.
55. Saber SED, Hashem AAR. Efficacy of Different Final Irrigation Activation Techniques on Smear Layer Removal. *J Endod.* 2011;37(9):1272-5.
56. Topçuoğlu HS, Topçuoğlu G, Arslan H. The Effect of Different Irrigation Agitation Techniques on Postoperative Pain in Mandibular Molar Teeth with Symptomatic Irreversible Pulpitis: A Randomized Clinical Trial. *J Endod.* 2018;44(10):1451-6.
57. Căpută PE, Retsas A, Kuijk L, Chávez De Paz LE, Boutsoukis C. Ultrasonic Irrigant Activation during Root Canal Treatment: A Systematic Review. *J Endod.* 2019;45(1):31-44.e13.
58. Siqueira JF Jr, Rôças IN. Optimising single-visit disinfection with supplementary approaches: a quest for predictability. *Aust Endod J.* 2011;37(3):92-8.

59. Malki M, Verhaagen B, Jiang LM, Nehme W, Naaman A, Versluis M, et al. Irrigant Flow beyond the Insertion Depth of an Ultrasonically Oscillating File in Straight and Curved Root Canals: Visualization and Cleaning Efficacy. *J Endod.* 2012;38(5):657-61.
60. Sabins R, Johnson J, Hellstein J. A Comparison of the Cleaning Efficacy of Short-Term Sonic and Ultrasonic Passive Irrigation after Hand Instrumentation in Molar Root Canals. *J Endod.* 2003;29(10):674-8.
61. Curtis TO, Sedgley CM. Comparison of a Continuous Ultrasonic Irrigation Device and Conventional Needle Irrigation in the Removal of Root Canal Debris. *J Endod.* 2012;38(9):1261-4.
62. Gutarts R, Nusstein J, Reader A, Beck M. In Vivo Debridement Efficacy of Ultrasonic Irrigation Following Hand-Rotary Instrumentation in Human Mandibular Molars. *J Endod.* 2005;31(3):166-70
63. Ruddle C. Endodontic disinfection: Tsunami irrigation. *Saudi Endod J.* 2015;5(1):1.
64. De Gregorio C, Estevez R, Cisneros R, Heilborn C, Cohenca N. Effect of EDTA, sonic, and ultrasonic activation on the penetration of sodium hypochlorite into simulated lateral canals: an in vitro study. *J Endod.* 2009;35(6):891-5
65. Neuhaus KW, Liebi M, Stauffacher S, Eick S, Lussi A. Antibacterial Efficacy of a New Sonic Irrigation Device for Root Canal Disinfection. *J Endod.* 2016;42(12):1799-803.
66. Donnermeyer D, Wyrsh H, Bürklein S, Schäfer E. Removal of Calcium Hydroxide from Artificial Grooves in Straight Root Canals: Sonic Activation Using EDDY Versus Passive Ultrasonic Irrigation and XPendo Finisher. *J Endod.* 2019;45(3):322-6.
67. Hamdan R, Michetti J, Pinchon D, Diemer F, Georgelin-Gurgel M. The XP-Endo Finisher for the removal of calcium hydroxide paste from root canals and from the apical third. *J Clin Exp Dent.* 2017;9(7):e855-e860
68. De-Deus G, Belladonna FG, Zuolo AS, Cavalcante DM, Carvalhal JCA, Simões-Carvalho M, et al. XP-endo Finisher R instrument optimizes the removal of root filling remnants in oval-shaped canals. *Int Endod J.* 2019;52(6):899-907.

69. Peters OA, Bardsley S, Fong J, Pandher G, DiVito E. Disinfection of Root Canals with Photon-initiated Photoacoustic Streaming. *J Endod.* 2011;37(7):1008-12.
70. Olivi G, DiVito E, Peters O, Kaitsas V, Angiero F, Signore A, et al. Disinfection efficacy of photon-induced photoacoustic streaming on root canals infected with *Enterococcus faecalis*. *J Am Dent Assoc.* 2014;145(8):843-8.
71. Lloyd A, Uhles JP, Clement DJ, Garcia-Godoy F. Elimination of Intracanal Tissue and Debris through a Novel Laser-activated System Assessed Using High-resolution Micro-computed Tomography: A Pilot Study. *J Endod.* 2014;40(4):584-7.
72. Jardel Da Silva L, Theodoro De Oliveira T, Candido Dos Reis A. Efecto del ultrasonido en la limpieza del sistema de conductos radiculares: revisión de literatura. *Odontol Sanmarquina.* 2019;22(3):187-95.
73. De Gregorio C, Arias A, Navarrete N, Cisneros R, Cohenca N. Differences in disinfection protocols for root canal treatments between general dentists and endodontists. *J Am Dent Assoc.* 2015;146(7):536-43.
74. Desai P, Himel V. Comparative Safety of Various Intracanal Irrigation Systems. *J Endod.* 2009;35(4):545-9.
75. Boutsoukis C, Gogos C, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Van der Sluis LW. The effect of root canal taper on the irrigant flow: evaluation using an unsteady Computational Fluid Dynamics model. *Int Endod J.* 2010;43(10):909-16.
76. Chen JE, Nurbakhsh B, Layton G, Bussmann M, Kishen A. Irrigation dynamics associated with positive pressure, apical negative pressure and passive ultrasonic irrigations: A computational fluid dynamics analysis. *Aust Endod J.* 2014;40(2):54-60.
77. Baasch A, Brisson-Suárez K, Koury JM, Vieira VTL, Alves FF, Baasch A, et al. Influencia de los Diseños de Agujas Endodónticas en la Irrigación de Conductos Radiculares. *Int J Odontostomatol.* 2021;15(3):756-64
78. Tay FR, Gu L sha, Schoeffel GJ, Wimmer C, Susin L, Zhang K, et al. Effect of Vapor Lock on Root Canal Debridement by Using a Side-vented Needle for Positive-pressure Irrigant Delivery. *J Endod.* 2010;36(4):745-50.
79. Dutner J, Mines P, Anderson A. Irrigation trends among American Association of Endodontists members: a web-based survey. *J Endod.* 2012;38(1):37-40.

80. Nagendrababu V, Jayaraman J, Suresh A, Kalyanasundaram S, Neelakantan P. Effectiveness of ultrasonically activated irrigation on root canal disinfection: a systematic review of in vitro studies. *Clin Oral Investig*. 2018;22(2):655-70.
81. Lee S -J., Wu M -K, Wesselink PR. The efficacy of ultrasonic irrigation to remove artificially placed dentine debris from different-sized simulated plastic root canals. *Int Endod J*. 2004;37(9):607-12.
82. Basantes López J, Chávez Regato J, Terreros MA. Determinación de índice de limpieza del tercio apical de conductos unirradiculares de acuerdo al método de irrigación, estudio in vitro. *Medicina (Mex)*. 2019;23(3):123-8.
83. Swimberghe RCD, Buyse R, Meire MA, De Moor RJG. Efficacy of different irrigation technique in simulated curved root canals. *Lasers Med Sci*. 2021;36(6):1317-1322.
84. De Gregorio C, Estevez R, Cisneros R, Paranjpe A, Cohenca N. Efficacy of Different Irrigation and Activation Systems on the Penetration of Sodium Hypochlorite into Simulated Lateral Canals and up to Working Length: An In Vitro Study. *J Endod*. 2010;36(7):1216-21.
85. Munoz HR, Camacho-Cuadra K. In Vivo Efficacy of Three Different Endodontic Irrigation Systems for Irrigant Delivery to Working Length of Mesial Canals of Mandibular Molars. *J Endod*. 2012;38(4):445-8.
86. Burleson A, Nusstein J, Reader A, Beck M. The In Vivo Evaluation of Hand/Rotary/Ultrasound Instrumentation in Necrotic, Human Mandibular Molars. *J Endod*. 2007;33(7):782-7.
87. Van Der Sluis LWM, Gambarini G, Wu MK, Wesselink PR. The influence of volume, type of irrigant and flushing method on removing artificially placed dentine debris from the apical root canal during passive ultrasonic irrigation. *Int Endod J*. 2006;39(6):472-6.
88. Ibarra De La Vega JF, Maldonado Paredes JE, Nardello Leite LC, Romero Cazares RX. Efectividad antibacteriana entre sistema de irrigación ultrasónica pasiva y continua sobre *Enterococcus faecalis*. Estudio in vitro. *Odontología*. 2021;23(2):e3272.

89. Vasconcelos LRSMD, Midená RZ, Minotti PG, Pereira TC, Duarte MAH, Andrade FBD. Effect of ultrasound streaming on the disinfection of flattened root canals prepared by rotary and reciprocating systems. *J Appl Oral Sci.* 2017;25(5):477-82.
90. Nakamura VC, Pinheiro ET, Prado LC, Silveira AC, Carvalho APL, Mayer MPA, Gavini G. Effect of ultrasonic activation on the reduction of bacteria and endotoxins in root canals: a randomized clinical trial. *Int Endod J.* 2018;51 Suppl 1:e12-e22.
91. Retsas A, Dijkstra RJB, Van Der Sluis L, Boutsoukis C. The Effect of the Ultrasonic Irrigant Activation Protocol on the Removal of a Dual-species Biofilm from Artificial Lateral Canals. *J Endod.* 2022;48(6):775-80.
92. Jiang LM, Verhaagen B, Versluis M, Langedijk J, Wesselink P, Van Der Sluis LWM. The Influence of the Ultrasonic Intensity on the Cleaning Efficacy of Passive Ultrasonic Irrigation. *J Endod.* 2011;37(5):688-92.
93. Boutsoukis C, Verhaagen B, Walmsley AD, Versluis M, Van Der Sluis LWM. Measurement and visualization of file-to-wall contact during ultrasonically activated irrigation in simulated canals. *Int Endod J.* 2013;46(11):1046-55.
94. Plotino G, Grande NM, Mercade M, Cortese T, Staffoli S, Gambarini G, Testarelli L. Efficacy of sonic and ultrasonic irrigation devices in the removal of debris from canal irregularities in artificial root canals. *J Appl Oral Sci.* 2019 ;7;27:e20180045.
95. Paiva HC, Iglecias EF, Freire LG, Candeiro GTDM, Vieira BR, Sousa FBD, et al. Root canal curvature influences uncontrolled removal of dentin and cleaning efficacy after ultrasonic activation. *Braz Dent J.* 2024;35:e24-5611.
96. Donnermeyer D, Dust PC, Schäfer E, Bürklein S. Comparative Analysis of Irrigation Techniques for Cleaning Efficiency in Isthmus Structures. *J Endod.* 2024;50(5):644-650.e
97. Usta SN, Erdem BA, Gündoğar M. Comparison of the removal of intracanal medicaments used in regenerative endodontics from root canal system using needle, ultrasonic, sonic, and laser-activated irrigation systems. *Lasers Med Sci.* 2024;39(1):27.

98. Shan X, Tian F, Li J, Yang N, Wang Y, Sun H. Comparison of Er:YAG laser and ultrasonic in root canal disinfection under minimally invasive access cavity. *Lasers Med Sci.* 2022;37(8):3249-58.
99. Su Z, Li Z, Shen Y, Bai Y, Zheng Y, Pan C, Hou B. Characteristics of the Irrigant Flow in a Simulated Lateral Canal Under Two Typical Laser-Activated Irrigation Regimens. *Lasers Surg Med.* 2020 Sep 10.