



ESTRATEGIAS DE IRRIGACIÓN EN ENDODONCIA

Dr. Matías Gardarián Gambogi

Tutora: Asist. Dra. Gimena Albuquerque

Carrera de Especialización en Endodoncia
Escuela de Graduados - Facultad de Odontología

Universidad de la República

Montevideo, Uruguay 2019

SUMARIO

GLOSARIO

RESUMEN

1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1. Objetivos	6
1.1.1. Generales.....	6
1.1.2. Específicos	6
1.2. Metodología.....	7
2. ANTECEDENTES.....	8
3. DESARROLLO	9
3.1. Microbiología	9
3.2. Influencia de la anatomía del canal radicular en el procedimiento de irrigación.	10
3.3. Soluciones Irrigantes	13
3.3.1. Antimicrobianos.....	13
3.3.1.1. Hipoclorito de sodio (NaOCl).....	13
3.3.1.2. Clorhexidina	14
3.3.2. Quelantes	15
3.3.2.1. Ácido etilendiaminotetraacético.....	16
3.3.2.2. Ácido cítrico	16
3.4. Dinámica de los fluidos.....	17
3.4.1. Efecto Vapor lock.....	18
3.5. Técnicas de irrigación.....	18
3.5.1. Irrigación por presión positiva con jeringa y aguja	18
3.5.1.1. Tipos de jeringas.....	19
3.5.1.2. Tipos de agujas.....	19
3.5.2. Presión apical negativa.....	24
3.5.3. Self-Adjusting File (Re-Dent-Nova, Ra'nana, Israel)	28
3.6. Técnicas de agitación	30
3.6.1. Agitación manual dinámica	30
3.6.2. Agitación sónica	31
3.6.3. Agitación activada por ultrasonido	35
3.6.4. Agitación activada por LASER.....	39
3.6.5. Agitación con instrumental rotatorio. XP-endo Finisher (FKG Dentaire SA, La Chaux-de-Fonds, Switzerland)	41

3.7. Seguridad del procedimiento	42
4. DISCUSIÓN.....	43
5. CONCLUSIONES	49
6. REFERENCIAS	51

GLOSARIO

AMD: Activación Manual Dinámica

CFD: Dinámica de Fluidos Computacional

CHX: Clorhexidina

EA: EndoActivator®

EDTA: Ácido Etilendiaminotetraacético

EV: EndoVac®

G: Gauge

IS: Irrigación Sónica

IU: Irrigación Ultrasónica

IUP: Irrigación Ultrasónica Pasiva

NaOCl: Hipoclorito de sodio

NiTi: Níquel-Titanio

PAN: Presión Apical Negativa

PCA: Paracloroanilina

PIPS: Photon Induced Photoacoustic Streaming

PMA: Punta Maestra de Administración

RAE: Real Academia Española

SAF: Self-Adjusting File®

XPF: Xp-endo Finisher®

ESTRATEGIAS DE IRRIGACIÓN EN ENDODONCIA

RESUMEN

El siguiente trabajo es una monografía de revisión donde se describen las diferentes técnicas con las que se aplican soluciones irrigantes y se analizan las soluciones que se emplean con más frecuencia durante la terapéutica endodóntica.

Dentro de las técnicas de aplicación, la irrigación con jeringa y aguja, a pesar de su larga historia, sigue vigente. Sin embargo, son necesarias ciertas pautas para que sea efectiva. El hipoclorito de sodio es el irrigante que se ha destacado por sobre los demás debido a sus cualidades. El complemento con quelantes y la clorhexidina disminuyen aún más la carga microbiana. Estas sustancias actúan por contacto directo, por lo que la distribución del irrigante dentro del canal es fundamental para lograr mejores resultados.

Con el avance de la tecnología han surgido nuevas técnicas, como la presión apical negativa, que utiliza aparatología específica buscando resolver algunos inconvenientes que presenta la irrigación convencional.

Por otro lado se describen las técnicas más utilizadas de agitación del irrigante. Estas permiten una mejor distribución del líquido dentro del espacio pulpar, con el objetivo de mejorar la desinfección de aquellas zonas que escapan a la instrumentación. Estas técnicas pueden ser ejecutadas de forma manual, como la agitación manual dinámica; o asistidas por máquinas, como la irrigación sónica y ultrasónica, PIPS y el Xp-Endo Finisher.

Las técnicas de agitación asistidas por máquinas demuestran mejores resultados pero requieren de aparatología específica que, en algunos casos, es sumamente costosa.

PALABRAS CLAVES

Endodontics, root canal irrigants, irrigation, hydrodynamics, biofilms.

1. INTRODUCCIÓN

Según la Real Academia Española (RAE), la irrigación es la introducción de un líquido en una cavidad (1). En el campo de la endodoncia, es la introducción de un irrigante dentro del espacio generado durante el proceso de conformación.

Es considerada por muchos como el paso más importante del tratamiento de conducto. Tiene múltiples funciones dependiendo del tipo de irrigante que usemos: reduce la fricción entre el instrumento y la dentina, mejora la eficacia de corte del instrumento, disuelve el contenido orgánico e inorgánico, enfría el diente y la lima, tiene un efecto de lavado removiendo los detritus y las bacterias del interior del conducto y actúa contra el biofilm bacteriano dentro del conducto radicular. Es también la única forma de limpiar las áreas del conducto que no son tocadas por el instrumento durante la conformación (2,3).

Debido al continuo surgimiento de nuevos métodos de irrigación, este trabajo busca informar sobre las técnicas más empleadas hasta la fecha, permitiendo una actualización y elección adecuada según el caso, aportando al logro de un mayor porcentaje de éxito en el tratamiento endodóntico.

Resulta imprescindible comprender que el terreno sobre el que trabaja la endodoncia se trata de un verdadero sistema de conductos con múltiples ramificaciones, por lo cual, no alcanza con la sola conformación del canal principal para lograr una verdadera limpieza de todo el sistema. Será necesario aplicar diversas sustancias, con diferentes técnicas, que logren aumentar el grado de limpieza.

En el presente trabajo también se analizan las soluciones irrigantes que se emplean con mayor frecuencia asociadas a las diferentes técnicas investigadas de aplicación.

1.1. Objetivos

1.1.1. Generales

Realizar una revisión de la literatura sobre las distintas sustancias y técnicas de irrigación empleadas en Endodoncia.

1.1.2. Específicos

- Reportar las soluciones utilizadas actualmente

- Describir las distintas técnicas de irrigación.
- Comparar la eficacia entre las distintas técnicas descritas.

1.2. Metodología

La monografía de revisión realizada es de tipo descriptiva.

Para su elaboración se efectuó una revisión de libros y artículos en español, inglés y portugués. Los límites de búsqueda fueron del año 1969 al 2019. Se utilizaron tanto fuentes impresas como electrónicas.

Se completó la búsqueda con la lectura y rastreo de literatura referenciada en los artículos.

Las bases de datos electrónicos consultados fueron: SciELO, PubMed, Scopus, portal Timbó y Ebsco library.

La búsqueda se realizó según las siguientes palabras clave: Endodontics, root canal irrigants, irrigation, hydrodynamics, biofilms.

2. ANTECEDENTES

El concepto de las bacterias como formadoras de enfermedad surge junto al desarrollo de las ciencias médicas, generando un impacto en la odontología y un efecto directo en la práctica endodóntica (4).

La irrigación como parte del procedimiento endodóntico comenzó a aplicarse en 1859, cuando Taft recomienda la frecuente irrigación del conducto radicular para remover "irritantes". En la década de 1940 la endodoncia surge como una especialidad entre los odontólogos y aparece la American Endodontic Society. Muchos de los conceptos y principios generados en este período se mantienen vigentes en la actualidad (4).

Históricamente el tratamiento de las afecciones pulpares irreversibles consistía en el tratamiento mecánico como pilar fundamental y la irrigación del espacio conformado como complemento, con el objetivo de eliminar el tejido afectado y los microorganismos que pudieran estar alojados en la cavidad preparada (5). Sin embargo fue demostrado cómo luego de la conformación manual, el 53.5% de la superficie del canal principal no era tocada por el instrumento, mientras que para técnicas de instrumentación mecanizada oscila entre un 38.8-42.8%. Quedando demostrado que el tratamiento mecánico solo permite limpiar una parte del sistema, cobrando verdadera importancia el procedimiento de irrigación (6,7).

A lo largo del tiempo muchos irrigantes fueron utilizados, pero el hipoclorito de sodio (NaOCl) se ha destacado por sobre los demás por sus cualidades. Estas características sólo podrán ser expresadas cuando se aplica en la concentración y cantidad correcta y cuando es llevado al conducto radicular de manera adecuada (5).

La forma más frecuente y difundida de aplicar el irrigante en el sistema de conductos es mediante jeringa, método que data de más de un siglo de antigüedad (4). El estudio de la dinámica de los fluidos ha permitido generar ciertas pautas que harán de este método una alternativa más efectiva en la limpieza y desinfección del sistema de conductos (8).

La irrigación convencional seguida por alguna técnica de agitación del irrigante, ya sea manual o asistida por máquina, ha demostrado aumentar la penetrabilidad del líquido, y por tanto, la eficacia en la desinfección (9).

3. DESARROLLO

3.1. Microbiología

En la naturaleza los microorganismos son capaces de vivir tanto en forma solitaria (estado planctónico), o como miembros de comunidades microbianas organizadas llamadas biofilm. El biofilm está compuesto por microorganismos embebidos en una matriz extracelular que puede adherirse, tanto a superficies biológicas como inertes. Los estudios demuestran que es una estructura compleja y cambiante en el tiempo (10).

Este proporciona a los microorganismos una serie de ventajas y habilidades que no se observan para las células que viven en un estado planctónico, incluyendo un rango de hábitat más amplio para el crecimiento; una mayor diversidad y eficiencia metabólica; protección contra microorganismos competidores, defensas del huésped, agentes antimicrobianos y estrés ambiental; así como también una mayor patogenicidad (11).

En la cavidad bucal, la caries, la gingivitis y la periodontitis son ejemplos de enfermedades causadas por biofilms bacterianos en forma de placa dental supragingival o subgingival. Las bacterias libres en la saliva sirven como fuente primaria para la organización de este biofilm. La excreción de sustancias adhesivas, como polisacáridos y proteínas, es crucial para la adhesión inicial de los organismos, así como para mantener unidas las bacterias del biofilm (12).

Aunque los hongos, las arqueas y los virus contribuyen a la diversidad microbiana de las infecciones endodónticas, las bacterias son los microorganismos que más comúnmente se encuentran en estas infecciones. Los datos de estudios moleculares y de cultivo han identificado más de 460 taxones bacterianos únicos pertenecientes a 100 géneros y 9 filos de bacterias en diferentes tipos de infecciones endodónticas (13).

En los conductos radiculares de dientes con lesiones periapicales se ha demostrado la presencia de biofilm. La evidencia creciente indica que la periodontitis apical es una enfermedad inducida por biofilm (12,14). Investigaciones con microscopía óptica y/o electrónica, han permitido la observación de bacterias que colonizan el sistema de conductos radiculares en infecciones primarias o persistentes/secundarias, como biofilms que cubren las paredes dentinarias. Además han demostrado que las ramificaciones apicales, los canales laterales y los

istmos que conectan los conductos radiculares principales entre sí, albergan células bacterianas, que también se organizan frecuentemente en estructuras similares al biofilm (7,15). Así mismo, el biofilm adherido a la superficie radicular apical (biofilm extraradicular) ha sido considerado como una posible causa de periodontitis apical persistente (7).

Algunos estudios destacan la presencia de bacterias viables en los túbulos dentinarios (16). Estas son capaces de penetrar entre 400-800µm y más. Si bien durante la preparación mecánica se desgasta dentina hasta dicha profundidad, nunca es uniforme, quedando zonas dentinarias con microorganismos en sus túbulos (17).

3.2. Influencia de la anatomía del canal radicular en el procedimiento de irrigación.

La anatomía interna dental es muy basta y compleja. Factores como el envejecimiento fisiológico, la patología y la oclusión modifican sus dimensiones a través de la producción de dentina secundaria, terciaria y de cemento. El sistema de conductos radiculares está dividido en dos porciones: la cámara pulpar, localizada en la corona anatómica del diente, y el conducto (o conductos) radiculares, localizado en la raíz. Dentro del espacio radicular encontramos conductos principales, accesorios, laterales y de furcación; deltas apicales, y forámenes apicales (18).

Desde Hess & Zurcher (1925), pasando por Pucci F, Reig R. (1945), han surgido numerosos estudios que intentan describir la anatomía interna. Existen diferencias significativas en sus resultados debido a las marcadas variaciones anatómicas posibles, y a las dificultades que presenta el estudio de la misma.

Weine (19) clasificó los sistemas de conductos radiculares en cuatro tipos básicos, mientras que Vertucci (20) en una de sus publicaciones, analiza 2400 dientes y describe ocho variables anatómicas o configuraciones que pueden presentar los conductos radiculares (Figura 1).

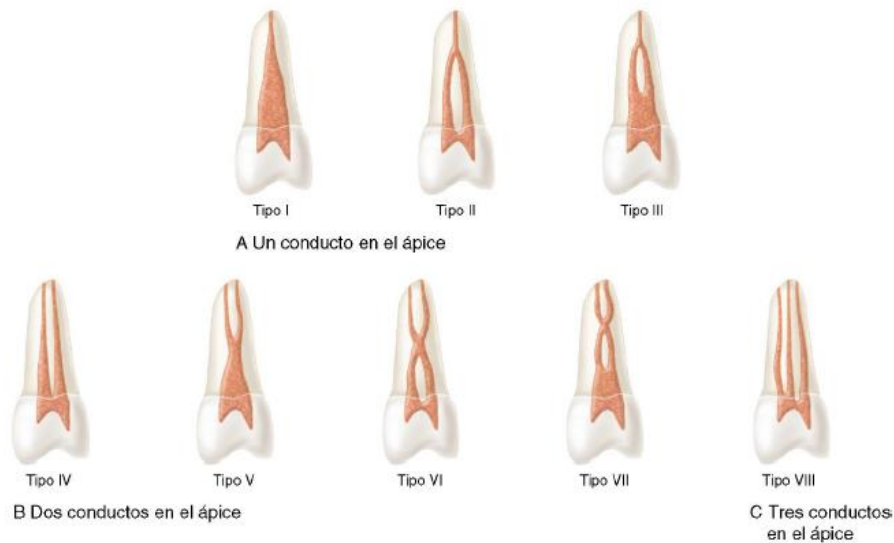


Figura 1 Representación esquemática de las configuraciones de los conductos. Tomado de Vertucci et al.(20)

Clasificación de Vertucci.

A: Un conducto en el ápice:

Tipo I: un conducto único se extiende desde la cámara pulpar hasta el ápice.

Tipo II: dos conductos separados salen de la cámara pulpar y se unen cerca del ápice para formar un conducto.

Tipo III: un conducto sale de la cámara pulpar y se divide en dos en la raíz; los dos conductos se funden después para salir como uno solo.

B: Dos conductos en el ápice:

Tipo IV: dos conductos distintos y separados se extienden desde la cámara pulpar hasta el ápice.

Tipo V: un conducto sale de la cámara pulpar y se divide cerca del ápice en dos conductos distintos, con forámenes apicales separados.

Tipo VI: dos conductos separados salen de la cámara pulpar, se funden en el cuerpo de la raíz y vuelven a dividirse cerca del ápice para salir como dos conductos distintos.

Tipo VII: un conducto sale de la cámara pulpar, se divide y después vuelve a unirse en el cuerpo de la raíz, y finalmente se divide otra vez en dos conductos distintos cerca del ápice.

C: Tres conductos en el ápice:

Tipo VIII: tres conductos distintos y separados se extienden desde la cámara pulpar hasta el ápice.

Con la aparición de la Tomografía Computada Cone-Beam (CBCT) se han realizado estudios que identifican nuevas variables anatómicas que no entran en ninguna de las clasificaciones antes descritas, por lo que surge, en 2015, una nueva clasificación propuesta por Versiani & Ordinola-Zapata (21). En este estudio se describen hasta 37 tipos de configuraciones que puede adoptar el canal radicular.

El análisis realizado por Gu y col. (22) con MicroCT de preparaciones de conductos con formas: ovaladas, aplanados, irregulares e istmos, ha demostrado la presencia de zonas no preparadas o nichos, que pueden albergar restos de tejido necrótico y biofilm, independientemente del instrumental utilizado (Figura 2)(23–26).

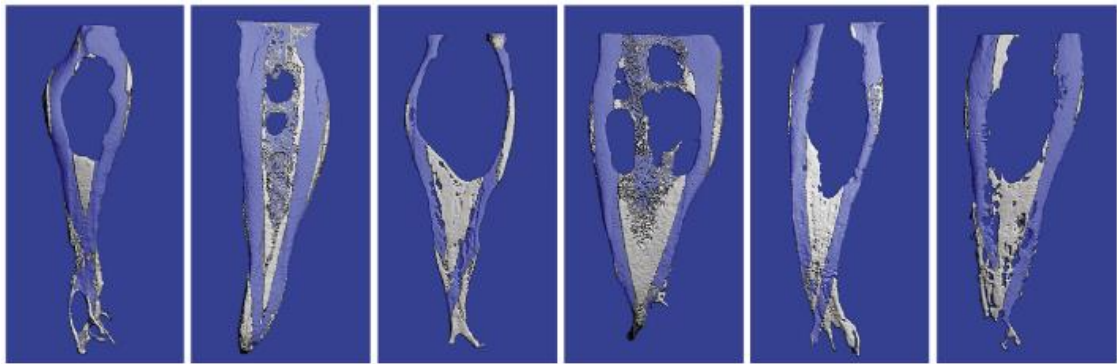


Figura 2 En violeta se observan las zonas preparadas por el instrumento y en blanco las que el instrumento no fue capaz de limpiar. Tomado de Paqué et al.(26)

La limpieza de estas zonas de difícil acceso puede verse aún más inaccesible por la compactación del detritus producto de la instrumentación, impidiendo que llegue la irrigación, neutralizando su eficacia (Figura 3)(26–28).

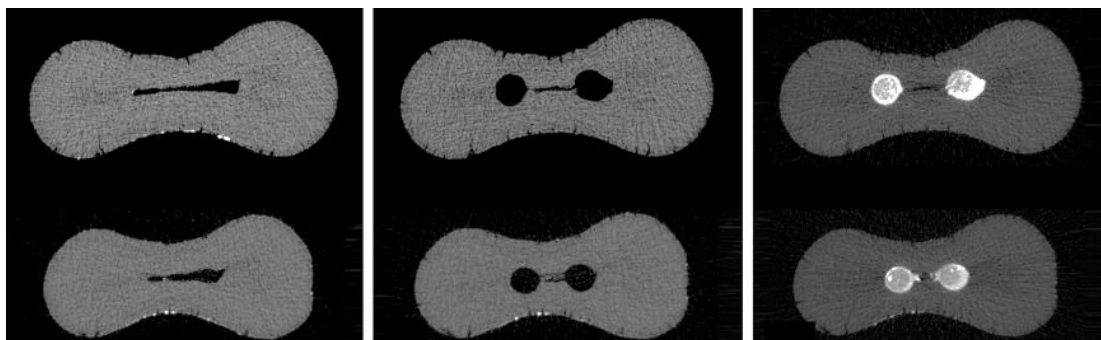


Figura 3 Un corte transversal de la raíz, (izquierda) previo a la instrumentación, (medio) después de la instrumentación y (derecha) después de la obturación. Tomado de Endal et al.(28)

Remover el tejido orgánico, el barrillo dentinario y el biofilm de las zonas a las que el instrumento no llega, sólo puede lograrse mediante la irrigación. Una solución irrigante adecuada y protocolos de uso eficientes son necesarios para proporcionar

penetrabilidad, microcirculación y flujo del irrigante a través de la intrincada anatomía del espacio pulpar, contrarrestando la falta de debridamiento generada por el instrumental actual (29).

3.3. Soluciones Irrigantes

La elección de la solución irrigante requiere un conocimiento previo de sus propiedades.

Las más comúnmente utilizadas en el proceso de irrigación durante la terapéutica endodóntica son: el hipoclorito de sodio y la clorhexidina (CHX), como antimicrobianos; y el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) y el ácido cítrico, como quelantes.

3.3.1. Antimicrobianos

3.3.1.1. Hipoclorito de sodio (NaOCl)

Es un eficaz agente antimicrobiano y proteolítico, un excelente disolvente de tejido orgánico y lubricante.

El NaOCl es el único irrigante capaz de despegar el biofilm adherido a la superficie del conducto cuando se lo usa en la concentración adecuada. La concentración puede ser variable, desde 0.5% hasta 6%. Se ha comprobado que tanto concentraciones bajas como altas son eficientes en la reducción del número de microorganismos. Al usarlo entre un 3% y un 6% hay ausencia de biofilm, en cambio al 1% se puede ver un biofilm desorganizado (30).

Según Estrela et al.(31) las propiedades del NaOCl se pueden resumir en:

Antibacteriana: es un bactericida de acción rápida y de amplio espectro, efectivo contra bacterias, esporas, levaduras y virus. Actúa por la liberación de cloro y oxígeno, conocidos por ser muy buenos antisépticos; y por tener un pH alcalino de 11.8, lo que neutraliza la acidez del medio evitando el desarrollo bacteriano.

La capacidad germicida de este compuesto deriva de la formación del ácido hipocloroso, cuando el NaOCl entra en contacto con restos orgánicos.

Disolvente: disuelve los restos orgánicos como: restos pulpares, la predentina, las prolongaciones odontoblásticas y los microorganismos. Todos ellos compuestos por prótidos, los cuales son deshidratados y solubilizados. El efecto disolvente sobre los

tejidos está directamente relacionado a la concentración. A mayor concentración mayor poder disolvente (32).

Neutralizante: esta propiedad permite neutralizar y eliminar el contenido tóxico del conducto en la sesión inicial del tratamiento.

Saponificante: actúa sobre los ácidos grasos transformándolos en jabones solubles de fácil eliminación.

Baja tensión superficial: lo que le permite mayor penetración en las anfractuosidades del sistema de conductos. La capacidad de penetración se relaciona también con la concentración, siendo mayor a mayor concentración.

Desodorizante: actúa sobre los elementos en descomposición que causan mal olor.

Blanqueante: disminuye la producción de biliverdina, pigmento que puede cambiar la coloración del diente (25).

El volumen de irrigante y la naturaleza del mismo, es más crítico para la desinfección que su concentración. Dentro de un incisivo central superior caben aproximadamente 10 μ L de un líquido, un volumen bastante limitado. El NaOCl se inactiva rápidamente por la presencia de contenido orgánico, exudado inflamatorio y por la biomasa microbiana. Por lo tanto, simplemente inundar el canal con hipoclorito de sodio durante el procedimiento puede ser ineficaz; el reemplazo frecuente del irrigante es sugerido para mantener la actividad deseada (33–36).

3.3.1.2. Clorhexidina

Es una bisguanida catiónica con un pH de entre 5.5 y 7. Su acción es concentración-dependiente. A baja concentración (0.12%) tiene un efecto bacteriostático, y en altas concentraciones (2%) es bactericida. Es considerado un antiséptico de amplio espectro, que tiene como principal ventaja la sustentividad, por 24 a 48hs, y escasa toxicidad. Este efecto depende de la concentración. En concentraciones bajas se forma una monocapa de CHX que es absorbida por las estructuras, y a altas concentraciones se forma una multicapa sobre la superficie, permitiendo un reservorio de CHX que se irá liberando al medio manteniendo un efecto a lo largo del tiempo (37).

Su efecto es producido por la unión de la molécula catiónica de la CHX a la superficie aniónica de la bacteria, alterando el equilibrio osmótico de esta por ruptura de su pared celular. También se une a la hidroxiapatita y a los tejidos blandos, cambiando su carga eléctrica, evitando la unión de las bacterias (38).

Si comparamos la CHX con el NaOCl, la primera tiene ciertas limitaciones, como la inactivación en presencia de materia orgánica, carece de poder disolvente del tejido orgánico y no es capaz de disrumpir el biofilm (30,39).

La recomendación clínica para el uso de la CHX durante el tratamiento endodóntico es en casos donde exista riesgo de extruir NaOCl, como en piezas con ápices abiertos o perforaciones; pacientes alérgicos al NaOCl; en gangrenas con procesos periapicales muy rebeldes o retratamientos podemos incluir como irrigante final a la CHX al 2% para mantener un efecto antimicrobiano sostenido en el tiempo dada su capacidad de sustantividad (39–41).

La combinación de NaOCl con CHX genera un precipitado amarronado que puede teñir la dentina. La reacción depende de la concentración de NaOCl. Cuanto mayor sea la concentración de NaOCl, mayor será el precipitado (Figura 4). Además, se ha planteado la preocupación de que el precipitado resultante podría interferir con el sellado de la obturación del conducto radicular (41).

Basrani et al.(42) evaluaron la naturaleza química de este precipitado y reportaron la formación de paracloroanilina (PCA). Se ha demostrado que la PCA es tóxica en humanos con exposición a corto plazo. Para evitar este efecto debemos tener la precaución de eliminar el NaOCl del conducto secándolo, o irrigando con suero, previo al uso de la CHX.



Figura 4 Los tubos contienen diferentes concentraciones de (NaOCl) mezclado con 2% y clorhexidina (CHX). La concentración de NaOCl disminuye de 6.0% (el primer tubo a la izquierda) a 0.023% (el noveno tubo a la izquierda). A mayor concentración de NaOCl se forma mayor cantidad de precipitados y de color más oscuro. Tomado de Basrani et al.(42)

3.3.2. Quelantes

Durante la etapa de irrigación los quelantes se utilizan para remover el barrillo dentinario, y así dejar la pared dentinaria libre de restos inorgánicos generados durante la etapa de conformación. Este barrillo dentinario está compuesto de partículas dentinarias, tejido pulpar remanente vital o necrótico y componentes bacterianos (43).

Los agentes quelantes más frecuentemente utilizados son el EDTA y el ácido cítrico.

3.3.2.1. Ácido etilendiaminotetraacético

Se lo utiliza en una concentración del 17% y debe ser aplicado durante 1 minuto en contacto con las paredes del conducto. La irrigación sola con EDTA no resulta significativamente beneficiosa para remover el barrillo dentinario ya que solo removerá la parte inorgánica del mismo y dejará expuesta en la dentina una capa de colágeno a la que podrán unirse las bacterias. Por ello debe ser utilizado el NaOCl, quien removerá el contenido orgánico y neutralizará la acción quelante (29).

Según un estudio de Ng et al. irrigar con EDTA como paso final a la conformación aumenta significativamente la tasa de éxito en el tratamiento (44).

3.3.2.2. Ácido cítrico

El ácido cítrico se utiliza para eliminar el barrillo dentinario. Al igual que el EDTA, la eliminación completa de esta capa, requiere de la irrigación con NaOCl antes o después de la aplicación del quelante (45). Se ha utilizado en distintas concentraciones que van desde el 1% hasta el 50%.

Efecto de la temperatura sobre el irrigante

NaOCl + calor

El aumento de temperatura del NaOCl mejora la capacidad disolvente del tejido orgánico.(46) Existen varios dispositivos para precalentar las jeringas de NaOCl; sin embargo, tan pronto como el irrigante se deposita en el canal, la temperatura del mismo alcanza la temperatura corporal (47).

El calentamiento in situ del NaOCl puede lograrse activando las puntas ultrasónicas o sónicas del NaOCl dentro del conducto radicular durante un par de minutos (48).

EDTA + calor

Un aumento de la temperatura en los quelantes no es deseable ya que disminuye su capacidad de captar iones calcio, por lo tanto su efectividad (49). De hecho, la activación del agente quelante es cuestionable, aunque se cree que pueda aumentar la penetrabilidad del mismo en la dentina (50).

CHX + calor

Un aumento en la temperatura de la CHX a 45°C ha demostrado formación de PCA, por lo tanto no es recomendable. No se ha evidenciado que se produzca a 37°C (51).

3.4. Dinámica de los fluidos

La dinámica de fluidos computacional (CFD) es una de las ramas de la mecánica de fluidos que utiliza métodos numéricos y algoritmos para resolver y analizar problemas sobre el flujo de fluidos. Representa una poderosa herramienta para investigar los patrones de flujo y los fenómenos físicos y químicos. Aunque fue desarrollado con fines industriales y de ingeniería, el campo biomédico también se ha beneficiado de él, como es el caso de la endodoncia (52).

La velocidad, la penetración y la tensión de corte del irrigante sobre la pared son algunas de las medidas que pueden obtenerse fácilmente utilizando CFD. La velocidad que un irrigante alcanzará a lo largo del conducto radicular es crítica para la eficacia de la limpieza (53).

Cuando un líquido fluye puede hacerlo de dos maneras: de forma laminar, a una velocidad de salida mínima de 0.01ml/s, o de forma turbulenta. La turbulencia favorecería la penetración y el recambio del irrigante, dado por un movimiento aleatorio e impredecible del líquido, sin embargo no ha sido posible estudiar este efecto dentro del conducto radicular (2).

Existe una tendencia a que la velocidad de administración sea mayor en los operadores masculinos que en los femeninos, independientemente de la aguja utilizada (54).

La penetración del irrigante y la acción de lavado creada por la irrigación dependen no sólo de la anatomía del sistema de conductos radiculares, sino también del sistema de suministro, la profundidad a la que es depositado, del volumen y las propiedades físicas del irrigante (55,56).

A medida que un irrigante se mueve a través del sistema de conductos radiculares, produce una fuerza de arrastre en la pared del canal, que se conoce como tensión de corte (del inglés wall shear stress). Esta es responsable del desbridamiento mecánico del espacio del conducto radicular y se ve afectada por una variedad de condiciones tales como la conicidad de nuestra preparación (57).

La tensión de corte es un parámetro difícil de medir. Depende de la velocidad con la que impacta el irrigante en la pared. A mayor velocidad de choque, mayor será la tensión generada (58).

3.4.1. Efecto Vapor lock

El objetivo clínico de la irrigación es lograr la limpieza química y mecánica del sistema de conductos. Para ello es necesario que el irrigante tome contacto con todas las paredes del conducto. Sin embargo, lograr este objetivo en la porción apical del conducto radicular es difícil por el llamado efecto Vapor lock o burbuja de aire (Figura 5).

El conducto radicular se comporta como un sistema de circulación cerrado. El canal contiene aire que puede ya estar presente o formarse por el burbujeo generado al irrigar con NaOCl, y el contacto de este con el contenido orgánico del canal (59).

El aire entrampado impedirá que el irrigante llegue a la porción apical y tome contacto con todas las paredes del canal. La agitación del irrigante busca romper estas burbujas y permitir que penetre más profundamente (60).

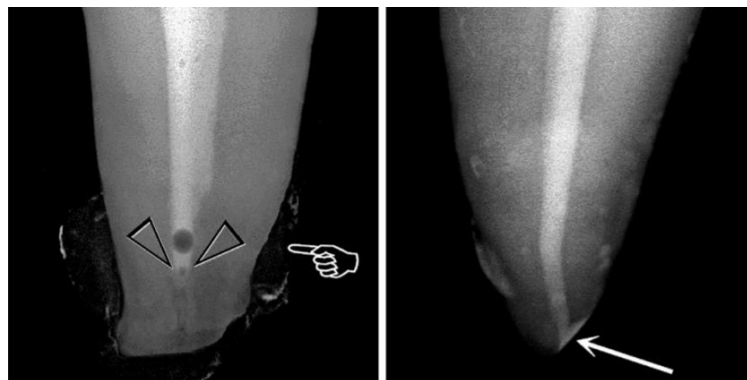


Figura 5 Efecto Vapor lock. Tomado de Tay et al.(60)

3.5. Técnicas de irrigación

3.5.1. Irrigación por presión positiva con jeringa y aguja

A pesar de su larga historia y de la creación de técnicas más modernas y sofisticadas todavía se recomienda su uso. Su nombre se debe a que el clínico debe aplicar una fuerza al émbolo de la jeringa que se transmite al líquido contenido

en ella. De esta forma, aumenta la presión en el interior de la jeringa respecto a la presión atmosférica, lo que resulta en la salida del irrigante.

Algunas variables como la velocidad con la que se aplica el irrigante, el lugar en el que se deposita, la aguja utilizada y el tamaño de la conformación podrán repercutir sobre los resultados de esta técnica (56,61–63).

3.5.1.1. Tipos de jeringas

Existen jeringas Luer de diferente capacidad. A mayor volumen menos recargas serán necesarias, pero mayor esfuerzo se requerirá para lograr la velocidad de salida del irrigante adecuada de 0.26ml/s. De esta forma se logra que el flujo, aún siendo laminar, se comporte de forma inestable logrando una mejor limpieza (54).

Las jeringas de 5ml son las más indicadas para utilizar, ya que generan un equilibrio entre la necesidad de recarga y la fuerza necesaria para lograr un flujo adecuado del irrigante (54).

La presión necesaria para lograr una velocidad de salida del irrigante adecuada, usando agujas de pequeño calibre, hacen indispensable que las jeringas cuenten con Luer Lock (Figura 6), un sistema de traba por rosca en la unión de la jeringa con la aguja que evitar que estas se separen durante la maniobra (2).



Figura 6 Luer Lock. Tomada de https://www.advancesuppliesuk.com/ProductGrp/Medical_Products/iv-products/luer-lock-syringes

3.5.1.2. Tipos de agujas

Una aguja bien seleccionada debe: a- asegurar que el irrigante penetre lo más lejos posible en el sistema del conducto radicular; b- ejercer grandes esfuerzos de tensión en las paredes del canal, para remover la capa de biofilm adherido, detritus, y restos orgánicos; y c- permitir un espacio de salida del irrigante que arrastre los elementos suspendidos en el canal fuera del mismo (58).

El calibre de la aguja se mide en Gauges (G). La escala de medida utilizada en las jeringas no corresponde con la norma ISO establecida para el instrumental endodóntico (Figura 7). A mayor G menor calibre de aguja lo que permitirá avanzar más dentro del conducto y llegar lo más próximo al límite de trabajo, pero será necesaria mayor fuerza para lograr una velocidad de flujo adecuada (54).

ISO 9626:1991/Amd.1:2001 (Medical needles)					
Gauge size	Metric size (mm)	External diameter (mm)		Int. diameter (mm)	Instrument size
		Min	Max	Min	
21	0.80	0.800	0.830	0.490	80
23	0.60	0.600	0.673	0.317	60
25	0.50	0.500	0.530	0.232	50
27	0.40	0.400	0.420	0.184	40
28	0.36	0.349	0.370	0.133	40
29	0.33	0.324	0.351	0.133	35
30	0.30	0.298	0.320	0.133	30
31	0.25	0.254	0.267	0.114	25

Figura 7 Tomado de Boutsoukis et al. (64)

Las agujas se pueden diferenciar en dos grandes categorías, según sean de extremo abierto o cerrado con salida lateral (Figura 8).

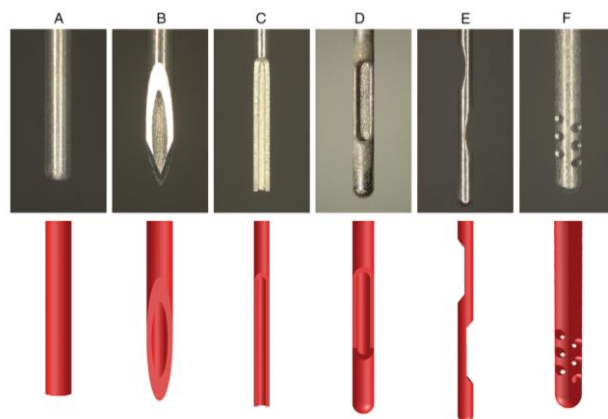


Figura 8 (A-C) Agujas abiertas: (A) plana (NaviTip; Ultradent, South Jordan, UT), (B) biselada (PrecisionGlide Needle; Becton Dickinson & Co, Franklin Lakes, NJ), y (C) dentada (Appli-Vac Irrigating Needle Tip; Vista Dental, Racine, WI). (D-F) Agujas de punta cerrada: (D) con ventilación lateral (KerrHawe Irrigation Probe; KerrHawe SA, Bioggio, Suiza), (E) con ventilación lateral doble (Endo-Irrigation Needle; Transcodent, Neumünster, Alemania), y (F) con ventilación múltiple (EndoVac Microcannula; Discus Dental, Culver City, CA). Tomado de Boutsoukis et al.(8)

Las agujas con orificio de salida lateral desarrollan menor presión apical, por ello logran el reemplazo del irrigante en el límite de trabajo sólo cuando se posicionan a 1 mm, mientras que las agujas con orificio de salida en su extremo son capaces de lograrlo posicionándola 2 mm alejadas del límite de trabajo (63). Por otro lado, no hay diferencias significativas cuando se emplean agujas biseladas o planas (62).

Los siguientes trabajos analizados con CFD, demostraron que con una aguja de salida lateral se genera una mayor tensión de corte en la pared del canal enfrentada al orificio de salida de la aguja, y que el intercambio del irrigante se concentra en la parte media y coronal del canal, siendo mínimo en el tercio apical (Figura 9) (8,52,58,65).

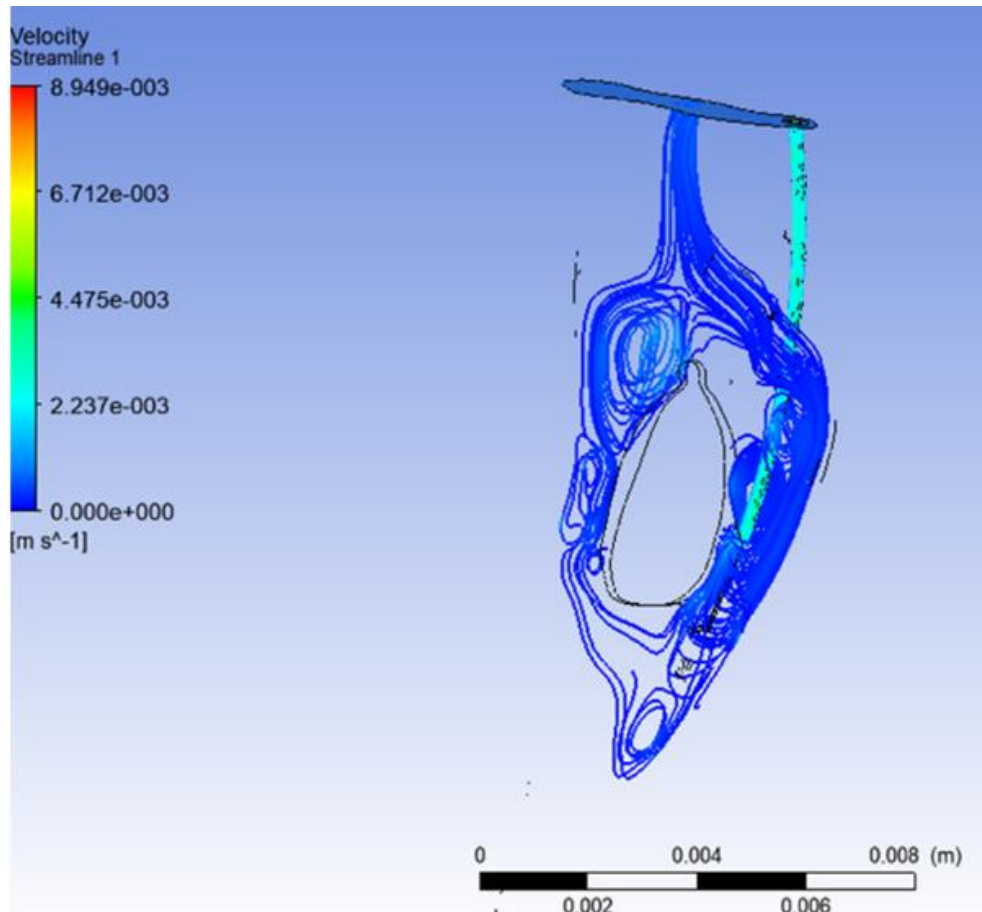


Figura 9 Tomado de Pereira et al. (52)

Cuando se utiliza una aguja de salida lateral y en un conducto instrumentado hasta 0.25mm con una conicidad 6%, el intercambio del irrigante no se produce más allá de 0.75mm apicales de la punta de la aguja, y para una preparación de 0.55mm con conicidad de 6% hasta 1.5mm apicales. Por otro lado, las agujas con orificio de salida en su punta, muestran mejores resultados en este aspecto bajo cualquier situación. Para una conformación de 0.35mm o 0.45mm con una conicidad del 6%, se produce un recambio del irrigante substancial, y para una preparación de 0.55 al 6% un intercambio absoluto (Figura 10) (62).

Por lo tanto, la conformación del canal juega un rol fundamental. Preparaciones entre 0.30-0.40mm permitirán una buena distribución del irrigante en el tercio apical cuando se emplea esta técnica (55,66).

Un alejamiento de la aguja del límite de trabajo genera como consecuencia mayor distancia entre esta y la pared del conducto, a causa de la conicidad generada durante la conformación. Esto resulta en una disminución en la tensión de corte que pueda ejercer el irrigante sobre la pared del canal y sobre la porción apical del conducto (Figura 11) (63).

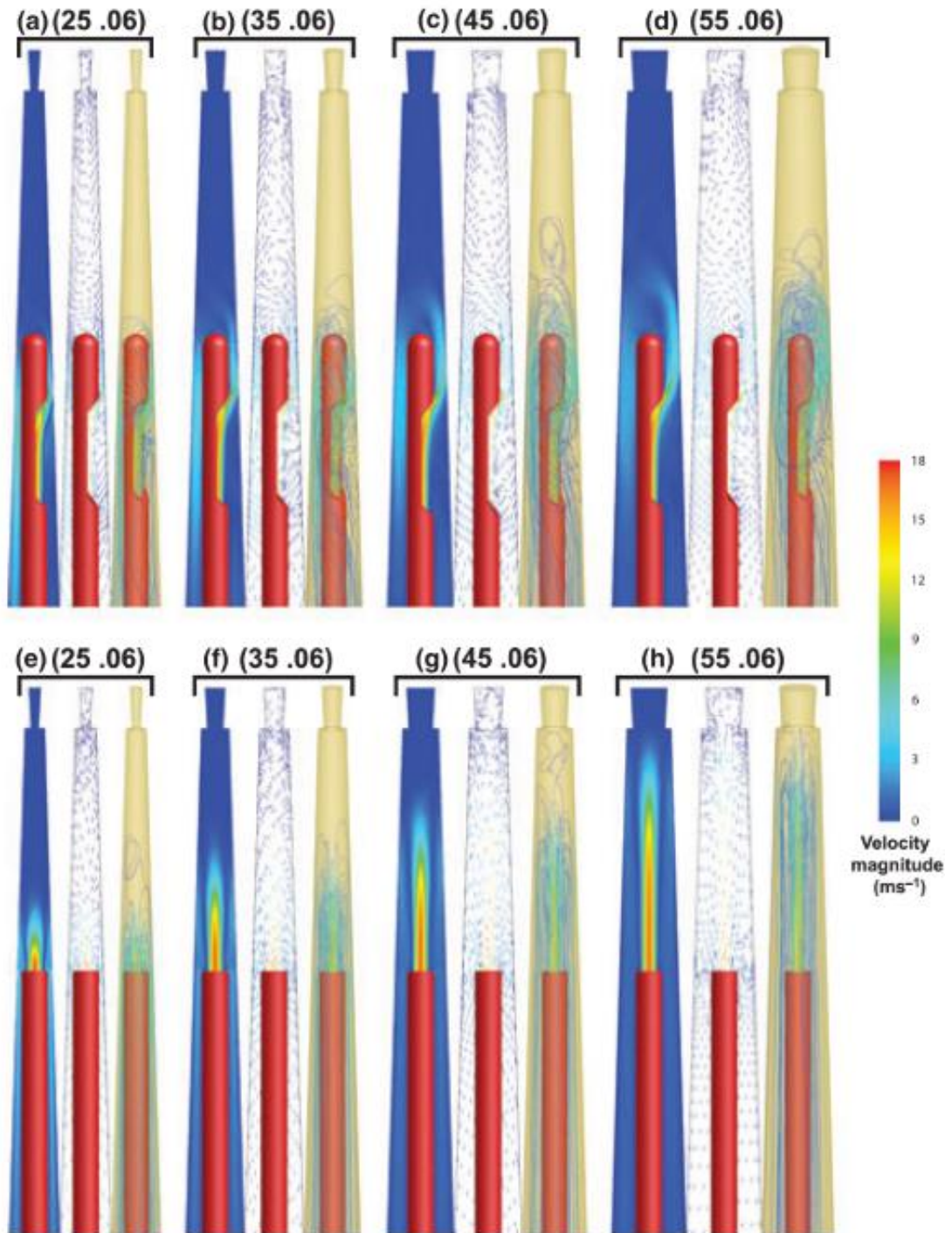


Figura 10 Muestra el intercambio del irrigante según la conformación apical. La aguja se sitúa siempre a 3mm del límite de trabajo. (A-D): aguja con salida lateral (E-H): aguja plana. Tomada de Boutsoukis et al.(62)

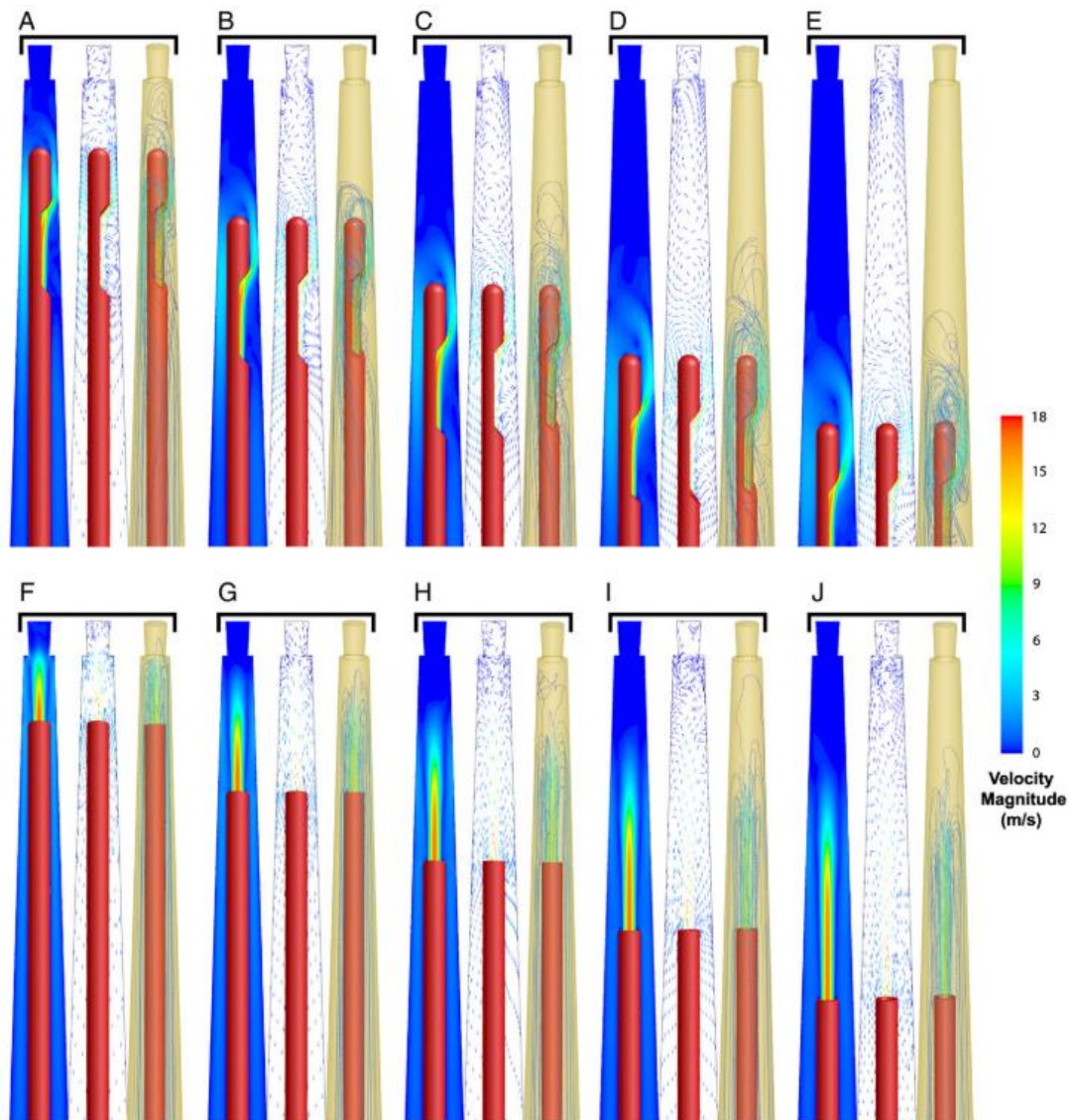


Figura 11 (A-E) aguja de salida lateral y (F-J) aguja plana colocadas entre 1-5 mm de la medida de trabajo. Las trayectorias de las partículas proporcionan una visualización del flujo principal del irrigante. (A-E) Se observa una serie de vórtices apicalmente a la aguja con salida lateral, sin importar la posición de la aguja. El tamaño y la posición de los vórtices varían, y el número de vórtices aumenta a medida que la aguja se posiciona más lejos del límite de trabajo. (F-J) Se ve un flujo de irrigante a alta velocidad a lo largo del eje longitudinal del conducto radicular apicalmente, que se extiende aún más allá de la constricción apical en el caso de 1mm. El flujo se extiende más lejos de la punta de la aguja a medida que es alejada del límite de trabajo. Tomado de Boutsoukis et al.(63)

En un trabajo realizado por Boutsoukis et al. (61) estudian cómo afecta la conicidad de la conformación en el intercambio del irrigante y concluyen que independientemente del tipo de aguja utilizada, a mayor conicidad mayor intercambio del irrigante. En contrapartida el aumento de la conicidad disminuye la tensión de corte que ejerce el irrigante sobre la pared del conducto. Además demuestran que la situación en la que se daban mejores resultados, en cuanto al

recambio del irrigante, fue cuando se tenían conformaciones apicales amplias y poca conicidad, 0.60mm y 2% de conicidad, en comparación a las conformaciones apicales pequeñas con mayor conicidad (61).

Modo de empleo

Una vez conformado el canal radicular se deberá seleccionar una aguja que llegue a 1mm de la medida de trabajo si la misma es de extremo cerrado, o a 2mm si es de extremo abierto. Se recomienda marcar la aguja, y que la misma entre holgada para permitir un espacio de reflujo (67).

3.5.2. Presión apical negativa

Fue desarrollado para suministrar de forma predecible el irrigante hasta la porción apical, logrando una mejor penetración de la solución, rompiendo la burbuja de aire apical (vapor lock) y permitiendo el intercambio constante de irrigante, consiguiendo la hidrólisis continua del tejido pulpar por parte del NaOCl, sin el riesgo de extrusión apical (68).

Sistema EndoVac (Discus Dental, Culver City, CA)

El sistema EndoVac® utiliza la técnica de presión apical negativa (Figura 12). Tiene tres componentes principales: la punta maestra de administración (PMA), la macrocánula y la microcánula (69).



Figura 12 Sistema EndoVac. Tomada de Basrani.(70)

La PMA (Figura 13) se ajusta a una jeringa de irrigación que debe contar con Luer lock, y tiene en su extremo una aguja de calibre 20G. Rodeando la aguja se encuentra una boca de succión que está conectada a un tubo de plástico

transparente que se inserta en el adaptador multipuerto y de allí a la succión del equipo. De esta forma, la PMA puede simultáneamente irrigar y evacuar cualquier exceso de líquido que pueda fluir desde la cámara pulpar.

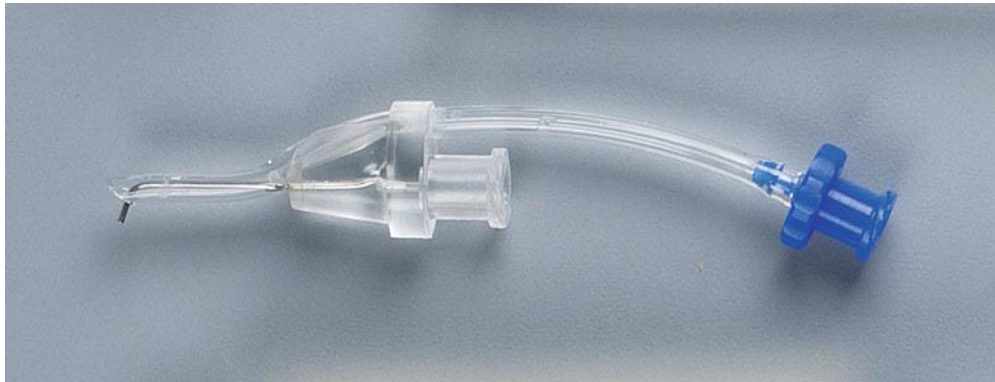


Figura 13 Punta maestra de administración (PMA). Tomado de Basrani.(70)

La macrocánula (Figura 14) se utiliza para extraer el irrigante en el segmento coronal y medio del canal. Confeccionada de plástico azul translúcido, tiene un diámetro externo de 0,55mm, un diámetro interno de 0,35mm, una conicidad de 2% y está diseñado para ser utilizada una sola vez.



Figura 104 Macrocánula. Tomado de Nielsen et al.(69)

Esta se une a una pieza de mano de aluminio autoclavable (Figura 15) y se utiliza con un movimiento de entrada y salida, mientras que el irrigante se suministra simultáneamente de forma pasiva en la cámara pulpar. Se utiliza para eliminar los residuos y tejidos que quedan durante la instrumentación.



Figura 15 Pieza de mano. Tomado de Nielsen et al.(69)

La pieza de mano se conecta a través de un tubo de plástico transparente a la aspiración de alta velocidad de la unidad dental a través del adaptador multipuerto (Figura 16).



Figura 16 Elementos conectados al adaptador multipuerto. Tomado de <https://www.indiamart.com/proddetail/endo-vac-irrigation-system-7865990473.html>

La microcánula (Figura 17) contiene 12 orificios microscópicos colocados lateralmente adyacentes a su extremo cerrado, 100 μ de diámetro y espaciados con 100 μ de separación. Es capaz de evacuar el contenido de toda la longitud de trabajo. Confeccionada de acero inoxidable con un diámetro externo de 0,32mm, sin conicidad, por tanto se puede utilizar en canales conformados con una lima #35 y una conicidad del 4% o superior. Los orificios actúan como filtros para evitar la obstrucción del lumen interno de la microcánula, con un diámetro interno de 0,20mm.

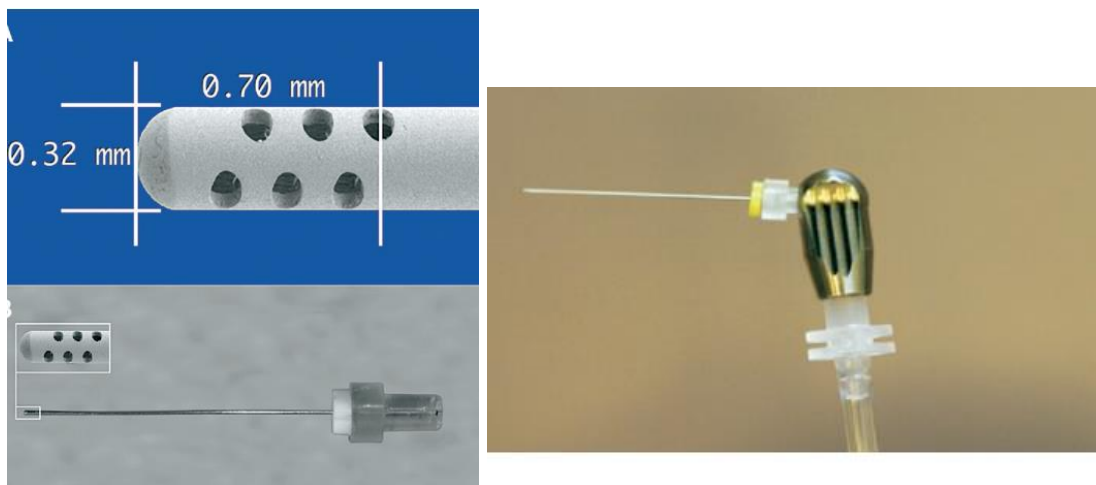


Figura 17 Microcánula. Tomado de Nielsen et al.(69)

Modo de empleo

El sistema comienza a usarse una vez esté lista la conformación. En los pasos previos se deberá irrigar con jeringa y aguja.

El irrigante se deposita en la cámara pulpar mediante la PMA dirigiéndolo hacia la pared axial y nunca hacia el orificio de entrada del canal (Figura 18 A).

En primera instancia se utiliza la macrocánula en cada canal por 30 segundos con un movimiento de entrada y salida llegando lo más próximo al límite de trabajo. La cánula aspira el irrigante depositado en cámara, llevándolo al interior del conducto. Si durante el procedimiento de irrigación la macrocánula se obstruye debe ser retirada del conducto y lavada con suero fisiológico a presión para eliminar el elemento obstructivo (Figura 18 B). Esta maniobra también puede hacerse si la microcánula llega a bloquearse. El uso de la macrocánula como primer paso es importante para remover los restos más groseros de tejido generados durante la preparación, de otra forma la microcánula se obstruiría continuamente haciendo el procedimiento muy engorroso.

El siguiente paso se divide en tres ciclos que se aplicará en cada conducto. En esta instancia se coloca la microcánula en la medida de trabajo con el objetivo de remover el contenido de la porción apical del canal (Figura 18 C).

Durante el primer ciclo, se irriga con NaOCl a través de la PMA por 10 segundos. Luego se detiene el procedimiento para permitir que la hidrólisis del NaOCl al contacto con el tejido orgánico libere todo el gas que forma. Se vuelve a irrigar por otros 10 segundos y se vuelve a esperar a que se forme el burbujeo nuevamente. Finalmente se vuelve a irrigar por otros 10 segundos, luego se retira la microcánula mientras se continúa irrigando NaOCl con el PMA por 1 minuto. Este procedimiento permite eliminar el componente orgánico del barrillo dentinario generado durante la instrumentación.

El segundo ciclo se realiza irrigando con EDTA para eliminar el contenido inorgánico del barrillo dentinario. Se vuelve a llevar la microcánula a la medida de trabajo y se irriga con EDTA por 10 segundos. Luego se retira la microcánula y se deja actuar el EDTA por 1 minuto.

El tercer ciclo es igual al primero de ellos. En esta instancia, eliminado el barrillo dentinario, el NaOCl podrá penetrar en los túbulos dentinarios eliminando el tejido remanente en el interior de estos o la microbiota presente en ellos. Se saca la PMA

y se deja la microcánula para secar el canal, complementando con conos de papel. De esta forma el canal queda pronto para ser obturado (69,71).

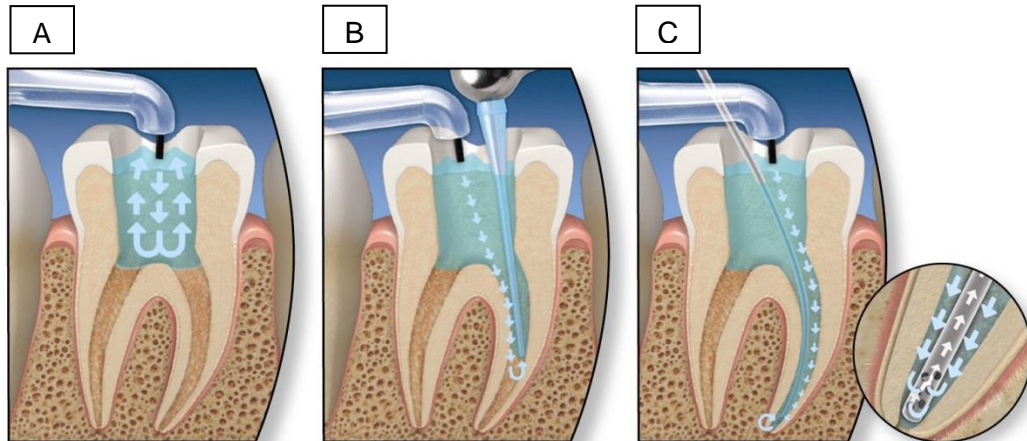


Figura 18 Esquema de uso del sistema EndoVac®. Tomado de <http://www.odontologiaespecializadadeaguascalientes.com.mx/diplomado-en-biomecanicas/>

3.5.3. Self-Adjusting File (Re-Dent-Nova, Ra'nana, Israel)

El sistema Self-Adjusting File® (SAF), realiza la instrumentación e irrigación de forma continua y simultánea. Como dispositivo de instrumentación se adapta a la forma del canal, a diferencia de la mayoría de los sistemas de instrumentación que conforman el canal según la forma de la lima (72).

Está diseñado para el tratamiento endodóntico mínimamente invasivo. Consiste en una lima de níquel titanio en forma de malla (Figura 19.a), autoajustable y extremadamente elástica y que puede comprimirse desde un diámetro de 1,5 mm hasta dimensiones similares a las de una lima de acero inoxidable #20 (Figura 19.b). Se activa con una pieza de mano especial (RDT) y una bomba de irrigación que suministra un flujo continuo de irrigante a través de la lima hueca (72).

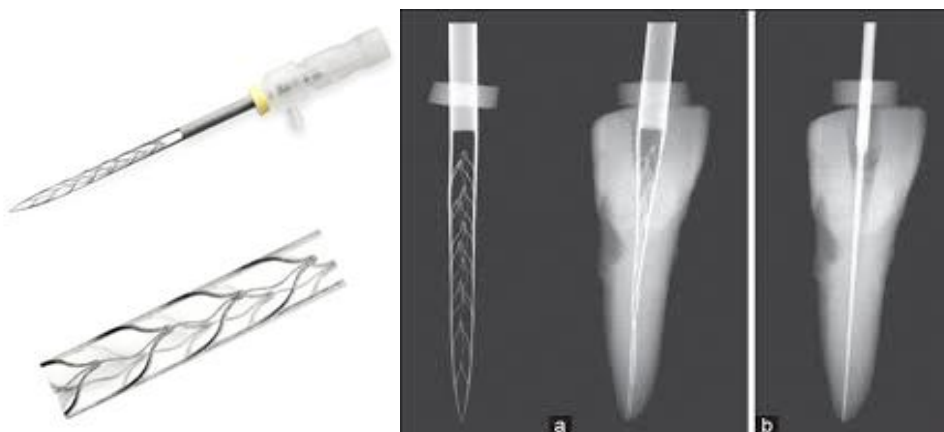


Figura 19 a. Lima en forma de malla para el sistema SAF®. b. Se observa la capacidad de compresión del instrumento comparable a una lima K #20. Tomado de Hof et al.(72)

La pieza de mano RDT (Figura 20) transforma la rotación del micromotor en una vibración con movimientos in-out de 0.4mm de amplitud. Cuando la lima no está en contacto con las paredes del canal, permite que el SAF® gire lentamente. El micromotor funciona a 5.000 rpm, lo que resulta en 5.000 vibraciones/min. Esta pieza de mano puede adaptarse a una gran variedad de motores endodónticos.



Figura 20 Pieza de mano RTD. Tomado <http://www.redentnova.com/products/rdt3-head>

Modo de empleo

Se puede definir al SAF como un sistema de irrigación sin presión que se aplica a lo largo de todo el proceso de instrumentación. Una vez que el irrigante entra en el instrumento, cualquier presión que pueda haber existido en el tubo de suministro desaparece debido a la estructura en forma de malla de su lima. El irrigante se introduce continuamente en el conducto radicular y las vibraciones de la lima, combinadas con el movimiento de picoteo aplicado por el operador, dan como resultado la mezcla continua del irrigante presente en el conducto radicular con el irrigante fresco y completamente activo (34).

Si bien es posible mediante una irrigación con jeringa y aguja lograr que llegue el irrigante al tercio apical del conducto, se necesita agitación adicional de la solución si el objetivo final es distribuir e intercambiar el irrigante en las complejidades anatómicas de la porción apical (60).

3.6. Técnicas de agitación

3.6.1. Agitación manual dinámica

La técnica de agitación manual dinámica (AMD) se define como un proceso rápido, de bajo costo, seguro y al alcance de todos, que podrá ser aplicado tanto con limas durante el proceso de conformación, como con conos de gutapercha una vez finalizada la preparación mecánica del canal (9).

Modo de empleo

Durante el proceso de conformación, el uso repetido de limas de pasaje permiten que el irrigante pueda ir avanzando apicalmente, rompiendo las burbujas de aire atrapadas dentro del canal (9).

Cuando el canal ya está conformado, se selecciona un cono de gutapercha de igual conicidad al de nuestra preparación y que ajuste en la longitud de trabajo (73). Luego se irriga con una solución fresca de NaOCl, y se introduce el cono seleccionado generando movimientos de entrada y salida de 2-3mm de amplitud, a razón de 100 movimientos por minuto de tiempo. Al finalizar se irriga con 1ml de EDTA, dejándolo actuar por 1 minuto y se remueve el quelante irrigando copiosamente con NaOCl. Se vuelve a agitar esta solución por periodos de 30 segundos, finalizando con una nueva irrigación de NaOCl fresca (Figura 21) (74).

El movimiento de entrada y salida genera un aumento en la presión hidrodinámica y una turbulencia intraconducto, aumentando la eficacia en la distribución del irrigante hacia zonas que no habían sido tocadas por el mismo (9).

El éxito de la técnica puede atribuirse a dos razones. La primera es la selección del cono de gutapercha. Esto asegura que el aire dentro del tercio apical del canal sea desplazado cuando el cono es insertado en la medida de trabajo. La segunda razón es la preparación cónica del canal, que da espacio para el reflujo, permitiendo que la solución irrigante fluya hacia arriba y hacia abajo a lo largo del cono (75).

En el estudio de Jiang et al. se compara la agitación con conos de mayor o menor conicidad. Se concluye que cuanto mayor es la conicidad del cono seleccionado, menor es el espacio que queda entre este y el conducto, generando mayor efecto hidrodinámico sobre la pared del canal, por lo tanto, mayor limpieza (73).



Figura 21 Tomada de Basrani.(76)

3.6.2. Agitación sónica

Esta tecnología está destinada a producir una agitación vigorosa del irrigante intracanal. Esta activación hidrodinámica sirve para mejorar la penetración, circulación y flujo del irrigante en las regiones más inaccesibles del sistema de conductos radiculares (77).

La irrigación sónica (IS) funciona en frecuencias que oscilan entre 1000Hz y 6000Hz. El patrón de oscilación de los instrumentos sónicos tiene un nodo cerca de la zona de enganche de este a la pieza de mano y un antinodo en la punta del mismo (Figura 22). La energía sónica genera amplitudes de movimiento altas, lo que se traduce en un mayor desplazamiento del instrumento (77).

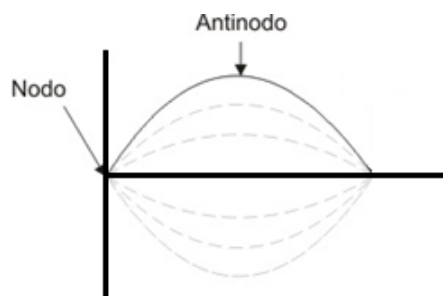


Figura 22 Esquema de movimiento del instrumento activado sónicamente.

Los dispositivos sónicos presentan puntas oscilantes hechas de un material plástico, cuando entra en contacto con la pared del conducto radicular no cortan la dentina, evitando la deformación del canal. Cuando el movimiento se ve restringido, no se detiene, sino que resulta en una vibración longitudinal del instrumento. Por tanto, podrán ser empleados en conductos rectos como curvos (78,79).

EndoActivator (DENTSPLY Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK, USA)



Figura 23 Sistema EndoActivator®. Tomado de Ruddle.(77)

La pieza de mano es inalámbrica, en ángulo y ergonómica. El motor sónico es energizado por una sola batería de litio. Ninguno de los componentes puede ser esterilizado o sumergido en soluciones de limpieza, por lo que para el control de infecciones se han diseñado fundas protectoras de barrera personalizadas para deslizarse fácilmente por toda la pieza de mano (Figura 23) (77).

Se maneja presionando un interruptor de encendido y apagado que activa las puntas. El interruptor de 3 velocidades ofrece opciones de 2.000, 6.000 y 10.000rpm (79).

Según las investigaciones, la mayor de las velocidades que genera el aparato, es la velocidad recomendada para maximizar el desbridamiento y la desorganización del biofilm (77).

Las puntas del EndoActivator® (EA) están hechas de un polímero de grado médico, fuerte y flexible, con una longitud de 22mm. Tienen un diseño de fácil acople y están codificadas por colores: amarillo, rojo y azul, que corresponden a los tamaños 15/02, 25/04 y 35/06, respectivamente. Cuentan con un protector en forma de cuenco que sirve como barrera protectora y para maximizar la visión durante el uso clínico. Cada punta tiene anillos pintados de orientación, colocados a 18, 19 y 20mm. Además, la extensión apical de cualquier punta puede ser cortada para adaptarse a la situación clínica. Son desechables, de un único uso (Figura 24) (77).



Figura 24 Puntas de activación. Tomado de Ruddle.(77)

Como desventaja estas puntas son radiolúcidas. Aunque no se rompen fácilmente, sería difícil identificarlas dentro del canal si llegaran a separarse, y podría solucionarse incorporando un radio opacificador al instrumento (9).

Cuando se activa el irrigante se crean burbujas (Figura 25). Estas se expanden, se vuelven inestables y luego colapsan. Cada implosión irradia ondas de choque que se disipan entre 25.000 y 30.000 veces por segundo y sirven para penetrar, desorganizar el biofilm y limpiar las superficies (77).

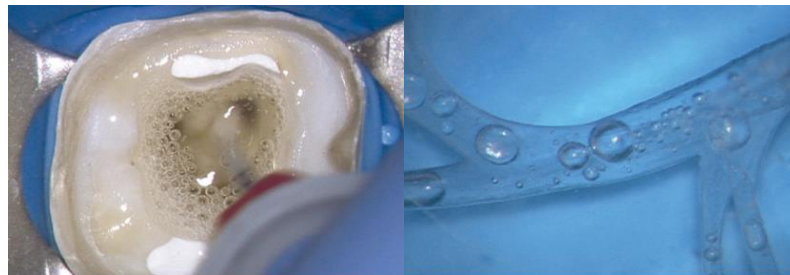


Figura 115 Burbujeo generado por la activación sónica del irrigante. Tomado de Ruddle.(77)

Modo de empleo

En canales totalmente conformados se selecciona una punta que quede de forma suelta a una distancia de 2mm de la longitud de trabajo. Esta nunca debe llegar a la longitud de trabajo. Un canal mal conformado o la selección de un instrumento demasiado grande servirán para amortiguar o restringir el movimiento del mismo, limitando su capacidad para agitar la solución irrigante. La vibración de la punta, en combinación con movimientos cortos in-out de 2-3mm, produce sinérgicamente un poderoso fenómeno hidrodinámico, como se da en la técnica AMD antes mencionada. Luego del procedimiento de conformación, se debe irrigar el espacio conformado con NaOCl y aplicar el EA por 30-60s. A continuación se irriga con una solución de EDTA al 17% y se vuelve a utilizar por otros 30-60s más. Finalmente se realiza una nueva irrigación con NaOCl y se aplica el EA durante 30s (77).

EDDY TIP (VDW, Munich, Germany)

Es un dispositivo que asegura una potencia mayor que la de otros dispositivos sónicos. Se aplica a una frecuencia de 6000 Hz utilizando un cavitador neumático convencional (80).

Algunos estudios (79,81–85) demuestran que la irrigación sónica a 6000 Hz puede ser igual de efectiva que la activación por ultrasonido en lo referente a: disolución del tejido orgánico, reducción de la carga microbiana, eliminación del detritus y barrillo dentinario en conductos radiculares curvos y rectos. La punta de polímero de uso único tiene un sistema de acople de rosca que se conecta directamente al cavitador neumático, al cual deberá ser compatible. Tiene un largo de 28mm, un diámetro inicial de 0.20mm y marcas de referencia a distintos niveles del instrumento (18, 19, 20, 22, 24, 25, 26 y 28mm) (Figura 26).

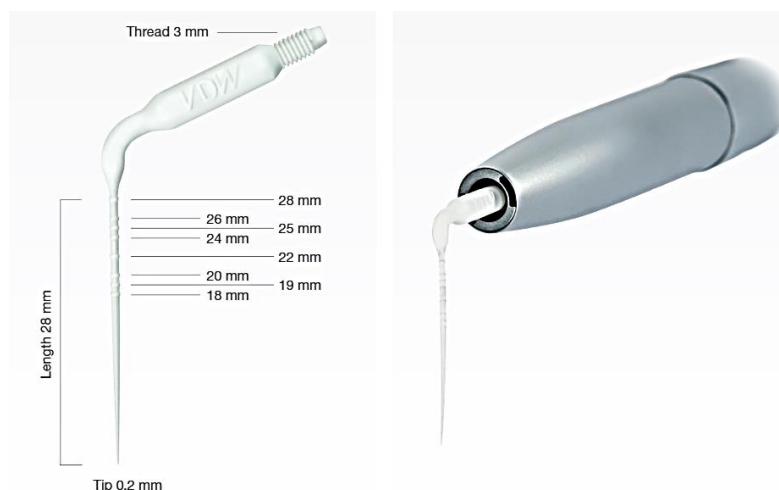


Figura 26 Punta de polímero Eddy Tip®. Tomado de <https://docplayer.net/15372767-Endo-easy-efficient-sonic-powered-endo-irrigation.html>

El fabricante afirma que las vibraciones a alta frecuencia producidas se transfieren a la punta y generan un movimiento oscilante de gran amplitud gracias a las cualidades originales del material. Este movimiento tridimensional genera cavitación y transmisión acústica, dos efectos físicos que se creía que sólo se desencadenaban por la irrigación ultrasónica (81).

La amplitud de oscilación de la punta del EndoActivator® ha demostrado ser de 1,2 mm, y la del Eddy Tip® de 0,35mm. Por lo tanto, el EA sufrirá mucho más contacto con la pared, lo que inhibe la oscilación libre de la punta y puede reducir el flujo eficiente del irrigante (84).

En otro trabajo se utilizaron 3 tiempos de activación de 20 segundos cada uno según el protocolo clínico sugerido. Como regla general, cuanto mayor es el tiempo de activación, mayor es la limpieza. Sin embargo, si se observa el grupo activado por Eddy Tip®, no hubo diferencias significativas al activar durante 40 segundos y 60 segundos, por lo que se aconseja una reducción del tiempo clínico (79).

Modo de empleo

Una vez que el canal es conformado al menos hasta 0.25mm, se debe enroscar la punta de polímero en el cavitador neumático hasta que genere cierta resistencia. Luego se deberá llenar el espacio pulpar con la solución irrigante elegida. La punta se lleva hasta la medida de trabajo, en caso de ápices abiertos se recomienda llegar 1mm por encima. La punta no debe ser activada antes de entrar al canal y debe ser desactivada antes de retirar el instrumento del mismo. Una vez que la punta esté en su posición, se deberá activar por 30-40s, realizando movimientos de entrada y salida, generando un aumento de la presión hidrodinámica intraconducto (Figura 27).

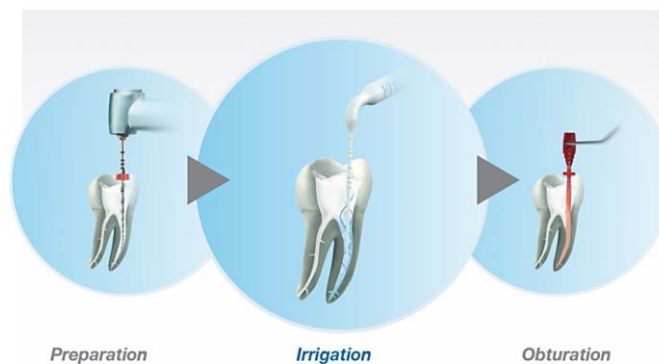


Figura 27 Tomado de <https://docplayer.net/15372767-Endo-easy-efficient-sonic-powered-endo-irrigation.html>

3.6.3. Agitación activada por ultrasonido

Los dispositivos ultrasónicos fueron introducidos por primera vez en la Endodoncia por Richman en 1957. La energía ultrasónica produce altas frecuencias, pero bajas amplitudes de movimiento en comparación con la energía sónica. Los instrumentos están diseñados para oscilar a frecuencias de 25-30 kHz, los que están más allá del límite de la capacidad de percepción auditiva humana (>20 kHz) (9).

El movimiento oscilatorio produce múltiples nodos y antinodos a lo largo del instrumento (Figura 28). Este mecanismo de acción sirve para disminuir el movimiento de ida y vuelta del instrumento (77).

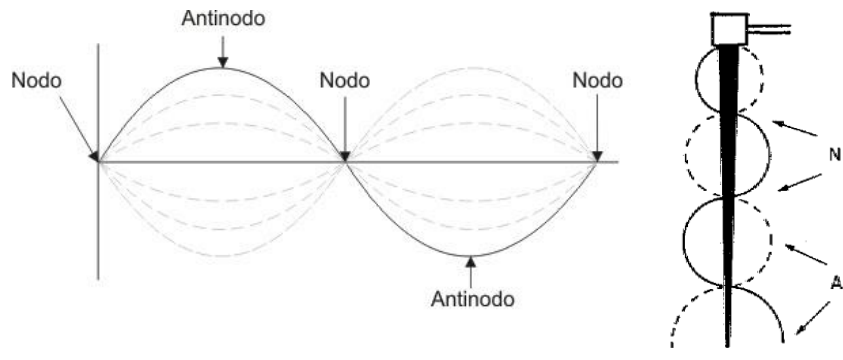


Figura 28 Esquema de movimiento del instrumento activado por ultrasonido. Tomado de Walmsley et al.(86)

Un dispositivo ultrasónico convierte la energía eléctrica en ondas ultrasónicas de una frecuencia determinada, por un mecanismo de magnetoestricción o piezoelectricidad. La magnetoestricción es generada por la deformación de un material ferromagnético sometido a un campo magnético; por otro lado, la piezoelectricidad es la generación de tensiones en cristales dieléctricos sometidos a una tensión (78).

Cuando un dispositivo ultrasónico es accionado en un líquido se producen dos fenómenos, el de transmisión acústica y la cavitación. La transmisión acústica es el movimiento rápido de un fluido en forma de vórtice o circular alrededor de una lima vibratoria (Figura 29) (86). Cuando el instrumento no puede vibrar libremente en el conducto radicular, la transmisión acústica se vuelve menos intensa, aunque no se detendrá completamente (79,86). Este efecto produce tensión de corte sobre la pared del canal, lo que causará la desorganización del biofilm y removerá barrillo dentinario. Las bacterias planctónicas resultantes son más susceptibles a la actividad bactericida del NaOCl (9,79).

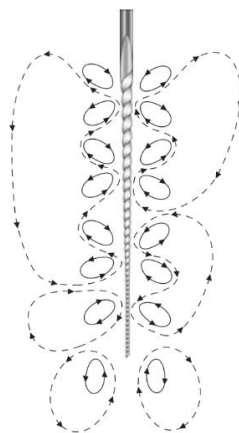


Figura 129 Representación esquemática de la transmisión acústica. Tomado de Ahmad et al.(87)

La cavitación, en el contexto de la mecánica de fluidos, puede describirse como la formación impulsiva de cavidades en un líquido a través de fuerzas de tensión inducidas por flujos a alta velocidad. Estas burbujas se expanden y luego colapsan rápidamente produciendo un foco de energía en la zona del impacto (86). De acuerdo con Roy et al.(88), dos tipos de cavitación podrían ocurrir durante la irrigación ultrasónica de los conductos radiculares: cavitación estable y cavitación transitoria. El fenómeno de cavitación puede producir un debilitamiento temporal de la membrana celular, haciendo que las bacterias sean más permeables al NaOCl (9).

La cavitación estable podría definirse como la pulsación lineal de cuerpos llenos de gas en un campo ultrasónico de baja amplitud. La cavitación transitoria ocurre cuando las burbujas de vapor sufren pulsaciones altamente energéticas. Cuando las presiones acústicas son lo suficientemente altas, las burbujas pueden ser conducidas a un colapso violento, irradiando ondas de choque y generando altas presiones y temperaturas. La cavitación transitoria sólo ocurre cuando la lima vibra libremente en el canal o cuando toca ligeramente la pared del canal. El aumento del contacto con la pared del conducto excluye la cavitación transitoria y produce una cavitación estable (88).

La cavitación como consecuencia de la activación ultrasónica genera un aumento en la temperatura del irrigante. Cameron en 1988 reportó un aumento de la temperatura intracanal de 37 a 45 °C cerca de la punta del instrumento y a 37 °C lejos de la punta cuando el irrigante fue activado ultrasónicamente durante 30s (48). Un aumento de la temperatura dentro de estos rangos no causará lesión en el ligamento periodontal, pero sí mostrará un aumento significativo en la capacidad de disolución del contenido orgánico por parte de NaOCl, en cambio, cuando se utiliza una mayor concentración de NaOCl, la eficacia parece aumentar (78).

Hasta la fecha, todos los instrumentos accionados por ultrasonidos se fabrican a partir de aleaciones metálicas (Figura 30). Los resultados indicaron que los instrumentos más pequeños (0,15mm y 0,20mm) generan mayor amplitud de movimiento y una transmisión acústica relativamente mayor que un instrumento de calibre 0,25mm. La velocidad de movimiento tiende a aumentar con el aumento de la potencia. No hay diferencias entre el uso de los instrumentos de calibre 0,15 y 0,20mm (87).

Se ha planteado la preocupación de que la IUP sea menos eficaz en los conductos radiculares curvos y no sea pasiva en absoluto (89). El contacto entre una punta

activada por ultrasonido y la dentina resulta en una amortiguación de la amplitud de movimiento de la punta y una reducción exponencial de la velocidad de flujo. Cualquier punta vibratoria, incluso si fuera pre-curvada, casi con toda seguridad entrará en contacto con la dentina en prácticamente todos los conductos, ya que estos siempre presentan algún grado de curvatura. El contacto entre la lima y la pared ocurre aproximadamente el 20% del tiempo. Un instrumento curvo muestra el mismo patrón de nodos y antinodos que una lima recta (77,79). Precurvar el instrumento que será llevado a un canal curvo tiene más probabilidades de producir cavitación transitoria que una lima recta para el mismo caso (88).

Consecuentemente, al ser instrumentos de metal, el contacto de estos con la pared del conducto radicular puede generar la remoción de dentina de manera incontrolada, alterando la morfología del canal (90).



Figura 30 Distintos tipos de instrumentos para activar el irrigante con ultrasonido. De izquierda a derecha Irrisonic®, Irrisafe® y Woodpeker®

Modo de empleo

En la literatura se han descrito dos técnicas. Una combina la instrumentación con la irrigación, denominada Irrigación ultrasónica (IU), en donde la lima entra en contacto intencionalmente con la pared del conducto radicular. La otra, denominada Irrigación ultrasónica pasiva (IUP), se utiliza una vez conformado el canal para agitar la solución irrigante y es considerado el método más utilizado para este fin. El término “pasivo” hace referencia a la acción no cortante del instrumento activado, más que al proceso en sí (9,89).

En la IUP el instrumento debe dejarse quieto a 1mm del límite apical (84). Puede emplearse de dos formas. Una de ellas es la técnica de lavado intermitente, donde el irrigante se inyecta en el conducto radicular con una jeringa y se recambia luego de cada ciclo de activación. La otra es la técnica de irrigación ultrasónica continua, en la cual el irrigante proviene del dispositivo ultrasónico cuando este es activado (78).

En la técnica de lavado intermitente, se recomiendan 3 ciclos de entre 10 y 20s por canal, completando entre 30s y 1min de activación (91). La cantidad de irrigante que fluye puede ser controlada porque se conocen tanto la profundidad de la penetración de la jeringa como el volumen del irrigante administrado. Según Weller, esta técnica consume mayor tiempo ya que es necesario un recambio constante del líquido irrigado, siendo que el mismo se llena de restos de dentina, tejido orgánico, microorganismos que saturan la solución y aumentan la viscosidad hasta el punto en que no se pueda producir ninguna actividad ultrasónica en la solución (92).

Cuando se utiliza un flujo continuo de irrigación, el volumen y la profundidad del líquido que entra al conducto radicular no se puede controlar ni medir. La ventaja de este método es la constante irrigación con solución de hipoclorito fresca dentro del canal (91).

Ambos métodos de lavado han demostrado ser igualmente eficaces para eliminar los restos de dentina del conducto radicular en un modelo en vivo, cuando el tiempo de irrigación fue fijado en 3 minutos (35).

3.6.4. Agitación activada por LASER

La puntas PIPS (Photon induced photoacoustic streaming) es una punta que emite impulsos fotoacústicos LASER, Er:YAG (2940nm) o Cr:YSGG (2780nm), a una potencia de 20mJ a 15Hz. La razón por la que se utilizan estos tipos de LASER para agitar el irrigante, es debido a su fuerte capacidad de ser absorbido por el agua (93).

Los impulsos generan una interacción entre las moléculas de agua que llegan a producir picos de potencia de 400W. Esto crea una expansión y ondas de choque sucesivas que conducen a la formación de una corriente turbulenta muy potente del fluido localizado dentro del conducto radicular, aumentando levemente la temperatura (1.2-1.5°C) a rangos no nocivos para las estructuras dentales y peridentales (94). Este leve aumento de temperatura quizás se deba a la baja potencia utilizada (20mJ) (95).

Se ha demostrado que la activación LASER del irrigante elimina eficazmente el tejido orgánico, disminuye la concentración bacteriana, elimina el biofilm y permite una desinfección de los túbulos dentinarios mejor en comparación con otras técnicas, aunque no logra eliminar completamente las bacterias de los túbulos dentinarios infectados (96). Jaramillo et al. en su estudio concluyen que la

activación con PIPS de una solución de NaOCl al 6% inhibe el crecimiento del *Enterococo Faecalis* (97).

La punta PIPS de conicidad única (Figura 31), se coloca únicamente en la cámara pulpar y se mantiene inmóvil durante todo el proceso de activación (Figura 32). Esto es posible dado que la potencia que genera se mantiene a 20mm de distancia de la zona de aplicación. Ello reduce la necesidad de realizar conformaciones grandes para permitir que el irrigante llegue al tercio apical (98).

Modo de empleo

Durante el tiempo de activación del láser se debe aplicar un flujo continuo de la solución irrigante. Es importante que la cámara pulpar se mantenga siempre inundada con suficiente solución de irrigación. El protocolo de irrigación es de seis ciclos de activación. Cada ciclo tiene una duración de 30s (93).

- Tres ciclos de 30s con NaOCl, entre un ciclo y otro se descansa 30s
- Un ciclo de 30s con solución salina
- Un ciclo de 30s de EDTA al 17%
- Un ciclo de 30s con solución salina



Figura 31 Punta PIPS. Tomado de Al Shahrani et al.(95)



Figura 32 Modo de empleo del sistema PIPS. Tomado de Al Shahrani.(95)

3.6.5. Agitación con instrumental rotatorio. XP-endo Finisher (FKG Dentaire SA, La Chaux-de-Fonds, Switzerland)

Es un instrumento hecho de una aleación de níquel-titanio (NiTi) patentada (MaxWire; FKG Dentaire), para ser usado luego de conformado el canal radicular, con el objetivo de mejorar la limpieza y desinfección. Tiene un diámetro inicial 0.25mm, sin conicidad, que a temperatura ambiente es recto; sin embargo, cuando se coloca dentro del canal, a temperatura corporal, la aleación cambia de fase martensita a austenita, haciendo que su porción apical se expanda 6 mm y forme una concavidad en forma de cuchara (Figura 33) (99). Esto permite al instrumento, durante la rotación, adaptarse a la anatomía del canal y realizar el desbridamiento y la limpieza en áreas que no fueron tocadas durante la conformación (Figura 34) (100).



Figura 33 Instrumento Xp-Endo finisher. Tomado de Hamdan et al.(99)

Modo de empleo

Una vez conformado el canal, irrigar con una solución fresca de NaOCl. El motor debe estar programado para trabajar con un movimiento de rotación continua entre

800-1000rpm y con un torque de 1 Ncm. Con el instrumento en la medida de trabajo, se realizarán movimientos in-out de 7-8mm de amplitud por periodo de 1min.

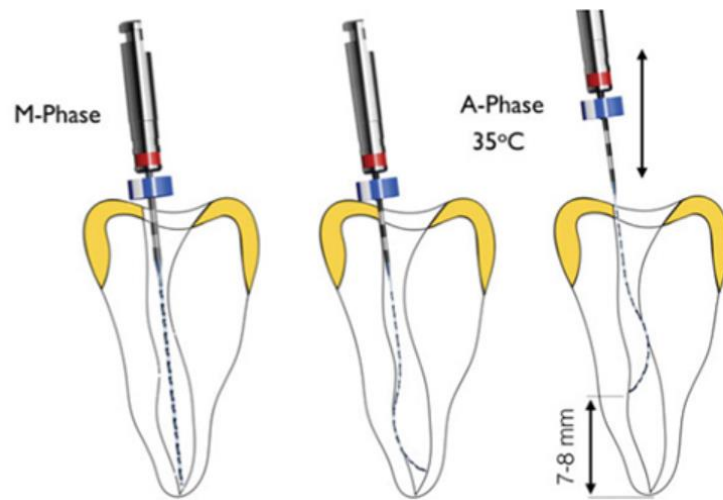


Figura 134 Tomado de <https://stomatologclub.ru/stati/terapiya-10/trehmernaya-ochistka-kornevyh-kanalov-1255/>

3.7. Seguridad del procedimiento

Es probable que aunque se haga una técnica perfecta, con la mayoría de los sistemas pueda haber alguna pequeña filtración o difusión del irrigante hacia los tejidos periapicales, lo que probablemente cause poco o ningún daño (58).

Cuando se irriga con NaOCl y éste se inyecta más allá de los tejidos periapicales, se genera un dolor inmediato de alta intensidad, edema inmediato de los tejidos blandos vecinos, posible extensión del edema en el medio lado lesionado de la cara, labio superior, región infraorbitaria, sangrado profuso del conducto radicular, sangrado intersticial profuso con hemorragia de la piel y de la mucosa (equimosis), sabor a cloro e irritación de la garganta después de la inyección en el seno maxilar, infección secundaria posible y posibilidad de anestesia reversible o parestesia (67).

Frente a esta situación clínica se recomienda informar al paciente sobre la causa y gravedad de la complicación, controlar el dolor con anestesia local y analgésicos. En casos graves se deberá derivar al paciente a un centro hospitalario. Aplicar inmediatamente compresas frías extraorales para reducir la hinchazón. Al cabo de un día, aplicar compresas calientes y enjuagues con agua caliente frecuentes para estimular la circulación sistémica local. En casos donde se pueda asociar un proceso infeccioso se podrá recetar antibiótico por vía oral (67).

4. DISCUSIÓN

Los resultados de las investigaciones sobre los distintos métodos y sistemas de irrigación deben ser leídos con cautela y analizados de forma particular, evaluando la forma en la que fueron realizados (60).

In vivo, rodeando a la pieza, el ligamento periodontal, tejido mucoso y óseo, sellan el foramen apical. Esto genera un efecto de vacío en el interior del canal (efecto Vapor Lock), que impide que el irrigante fluya libremente (101). En un estudio in vitro se denomina sistema cerrado cuando se contemplan las características mencionadas y abierto cuando no, permitiendo al irrigante fluir libremente. Un estudio realizado sobre un sistema abierto puede arrojar resultados equivocados, por ejemplo, sobre la extravasación del hipoclorito (102).

Son varios los estudios que evalúan la dinámica del fluido dentro de los conductos radiculares. La mayoría de ellos utilizan modelos geométricos a escala representando a los conductos radiculares. Otros utilizan modelos anatómicos adquiridos por Micro-CT (52). Las limitaciones de un modelo de estudio sobre bloques de acrílico o similar, incluyen la incapacidad de incorporar las irregularidades presentes en el sistema de conductos radiculares, el tejido pulpar remanente, el detritus generado durante la instrumentación, entre otros factores que podrían afectar la dinámica del irrigante (flujo, penetración e intercambio) (65). En la medida que se puedan ir incorporando nuevas variables, se obtendrán resultados más fidedignos.

Durante el procedimiento de irrigación se emplean distintas sustancias. El NaOCl destaca por ser el antimicrobiano más empleado. Plotino et al. resaltan la importancia de la cantidad por sobre la naturaleza del irrigante (79), sin embargo, Van Der Sluis et al.(35), Cameron et al.(36) y Siqueira et al.(103) obtienen diferencias significativas cuando se comparan las técnicas usando NaOCl y agua destilada o suero fisiológico. El NaOCl elimina significativamente más bacterias, tejido pulpar o restos de dentina del conducto radicular que el agua. Sin embargo el NaOCl se inactiva rápidamente, por tanto, el recambio debe ser constante (33).

Clegg et al.(30) comparan la CHX con el NaOCl y observan que la primera tiene ciertas limitaciones, como la inactivación en presencia de materia orgánica, carecer de poder disolvente del tejido orgánico y no ser capaz de disrumpir el biofilm.

Algunos autores encontraron que para el tratamiento de una periodontitis apical no existen diferencias significativas al irrigar con CHX en solución, o utilizar el NaOCl

(104–106). Por otro lado, Vianna et al.(107) describen al NaOCl con una capacidad superior para eliminar bacterias, sin embargo, para su estudio utilizó a la CHX al 2% en forma de gel, lo que pudo haber atenuado los efectos antibacterianos del CHX al reducir su distribución a través del canal.

El tercio apical parece ser la zona más difícil de limpiar, dado que la penetración y el intercambio de irrigante no son fáciles de producir en esta zona, producto del efecto Vapor Lock (60,108,109).

Según Tay et al.(60) solo es posible eliminar el aire atrapado en el conducto mediante la agitación del irrigante, aunque Boutsoukis et al.(108) creen que con la irrigación convencional pasiva, aumentando el tamaño de la conformación apical, usando agujas finas de extremo abierto posicionadas cerca de la medida de trabajo y aplicando el irrigante a una velocidad de flujo adecuada, es posible eliminar las burbujas de aire.

La conformación del conducto radicular a tamaños mayores de 0.25mm parece mejorar el rendimiento de la irrigación con jeringas. Salzgeber y Brilliant (66) concluyen que la conformación apical debe ser mínimo de 0,30 mm para que el irrigante penetre en esta zona, por otro lado Ram (55) concluye que es necesario conformar mínimo 0.40mm para que esto ocurra.

Hsieh et al.(110) muestran cómo a medida que aumentamos el tamaño de la conformación apical, dependiendo del calibre de la aguja y de la profundidad de inserción de la misma, el irrigante logra alcanzar el tercio apical. Si bien en este estudio no se habla de la conicidad de la conformación, para Boutsoukis et al.(61) tiene una relación directa sobre la penetración del irrigante.

Una vez terminada la conformación del espacio pulpar es recomendable la agitación del irrigante con el objetivo de mejorar la distribución del mismo. Cuando se compara la técnica de irrigación con jeringa y aguja con las técnicas de irrigación dinámicas, la primera obtiene siempre peores resultados sobre la limpieza del canal, sobre todo en la porción más apical, no existiendo diferencias significativas en tercio medio y cervical (69,73,78,111).

El éxito de la técnica de AMD según Jiang et al.(73) depende de la adaptación del cono de gutapercha a la pared. Esta debe ser estrecha, por lo que sugieren usar conos con la misma conicidad con la que se conformó. Debe existir un espacio de reflujo que permita al irrigante fluir a lo largo del cono, produciendo fuerzas hidrodinámicas sobre la pared dentinaria, generando así un efecto de barrido.

Cuanto más delgado sea este espacio, mayor fuerza hidrodinámica se generará. Por el contrario, Parente et al.(101) plantean que el desplazamiento del irrigante podría verse obstaculizado por una adaptación relativamente estrecha del cono de gutapercha a la pared del canal, lo que daría como resultado que los escombros se volvieran a asentar en el canal después de retirado el cono; y que el tamaño de las partículas de escombros también podrían interferir.

En este mismo estudio Parente et al.(101), observaron diferencias sustanciales según si el estudio se realiza sobre un sistema abierto o cerrado con la técnica de AMD, resultando el sistema cerrado con una mayor área de conducto sin desbridar. Sin embargo, para la técnica de PAN, no hubo diferencias significativas según el sistema empleado. Por tanto, se considera este método de irrigación muy efectivo para sobreponerse a las dificultades que presenta la dinámica de fluidos en un sistema de conductos radiculares cerrado.

La PAN permite una mejor limpieza de los milímetros más apicales del conducto si se lo compara con la técnica convencional de aguja y jeringa (69). En el estudio realizado por Siu y Baumgartner (111) se evalúa la cantidad de tejido sin debridar a 1mm y a 3mm del foramen apical, comparando la técnica de irrigación convencional con la de presión apical negativa. Con la técnica convencional a 1mm queda un remanente de un 0.12% en comparación al 0.05% con el sistema EndoVac®. A los 3mm no había diferencias significativas de limpieza al comparar ambos sistemas, con porcentajes de 0.09% y 0.07% respectivamente. Yoo et al (112) obtienen resultados similares sobre la limpieza del canal e istmos en su estudio.

Quizás los mejores resultados con la técnica de PAN se den por la mayor cantidad de irrigante aplicado para un mismo periodo de tiempo, en comparación con la técnica convencional con jeringa y aguja (69).

De los estudios en los que se compararon la IUP y la irrigación con jeringas, se puede concluir que la primera es más efectiva removiendo bacterias en estado plantónico, eliminando restos de tejido pulpar y restos de dentina, logrando istmos más limpios, lo que demuestra que la IUP tiene el potencial de eliminar los residuos de áreas remotas del sistema de conductos radiculares que no fueron tocados por los instrumentos durante la conformación (78,113).

Por otro lado, Siqueira et al.(103) no encontraron diferencias significativas al comparar ambas técnicas de irrigación, los efectos observados en este estudio fueron más dependientes de la solución de NaOCl que del método de aplicación

empleado. Es posible que los resultados obtenidos sean a punto de partida de bacterias ubicadas en irregularidades dentro del conducto, protegidas del efecto de cavitación, donde el irrigante no llega, o que sea necesario un mayor tiempo de aplicación de la técnica.

No obstante, quienes han demostrado que la IUP es significativamente mejor que el uso de jeringa, en ningún caso se logra eliminar completamente el barrillo dentinario del tercio apical del conducto (9,78,82,113).

Según Dutner et al.(89), la técnica de activación más frecuentemente utilizada entre miembros de la AAE es la IUP (48%), en comparación con la IS (34%) y el EV (10%), el restante 8% indicó usar otros métodos como complemento.

Según Sabins et al.(114) la mayor potencia de la IUP en comparación con la IS ha demostrado ser capaz de lograr una mejor limpieza. Sin embargo, es posible que ambas técnicas puedan producir similares resultados siempre que la IS se deje actuar por más tiempo (9,113).

La influencia del tiempo de aplicación sobre la eficacia de la técnica no está clara. Cameron (115) halló que cinco minutos de ultrasonido remueven más barrillo dentinario que un minuto de aplicación. En el estudio de Sabins et al.(114), no se encontraron diferencias significativas entre 30 y 60 segundos de IUP en la eliminación de residuos dentinarios del conducto radicular. Por otro lado, Plotino et al.(79) concluyen que cuando el tiempo de activación aumenta, la eliminación de residuos dentinarios parece aumentar tanto en la activación sónica como la ultrasónica y que ambas demuestran una gran capacidad para la eliminación de residuos dentinarios.

Urban et al.(84) y Jensen et al.(116) demostraron que la activación sónica logra un desempeño similar a la irrigación ultrasónica pasiva en la eliminación de detritus y la eliminación de la capa de barrillo dentinario en los canales, sin embargo, no se mencionó si se precurvó el instrumento activado por ultrasonido.

La eficacia de la IUP en canales curvos es objeto de debate. La IUP también puede ser eficaz en canales curvos y el mejor resultado se obtiene cuando el instrumento está precurvado (114,117,118).

Cuando el instrumento no es precurvado habrá mayor contacto del mismo con la pared en las zonas por debajo de la curva, lo que amortiguará su efecto y podrá generar desgaste del tejido dentinario que toca (79). Quizás ésta sea la causa de

que la IU sea menos eficaz para eliminar el tejido pulpar, o la capa de barrillo de la pared del canal, que la IUP (87,92). El contacto del instrumento con las paredes del canal genera una reducción de la transmisión acústica y la cavitación (87).

La variabilidad en los resultados obtenidos cuando se comparan estudios sobre la eficacia de la IUP podría deberse a la dificultad de estandarizar la posición del instrumento activado ultrasónicamente en el centro del conducto radicular y estandarizar la amplitud de desplazamiento, ya que una pequeña restricción en el conducto cambiará la amplitud. Esto tendrá un efecto directo sobre la eficacia de la técnica. Es muy probable que este problema se pueda superar aumentando la frecuencia del ultrasonido. Entonces la velocidad de flujo del irrigante será tan fuerte y un pequeño cambio en la posición del instrumento hará poca diferencia (78).

En la IUP el mayor movimiento se genera en la punta del instrumento, y 2mm alejado de ella la velocidad de flujo disminuye significativamente siendo casi imperceptible. Otro estudio comparó la dinámica de fluidos al irrigar con las IUP y con las puntas PIPS, y lo analizan a distintos niveles dentro del canal radicular. El resultado de este estudio demuestra que las puntas PIPS logran una velocidad de movimiento del irrigante 10 veces superior a la IUP y que se mantiene a 20mm de distancia de la zona de aplicación (98).

Esto se refleja en los mejores resultados obtenidos por Peters et al sobre la desinfección y disrupción del biofilm en el tercio apical por parte de las puntas PIPS al compararlas con la IUP. No obstante, no se logró eliminar completamente las bacterias de los túbulos dentinarios infectados (89).

La mayor velocidad alcanzada al irrigar con PIPS puede ser beneficiosa para lograr una mejor limpieza y desinfección del canal radicular, pero puede generar una mayor extravasación del irrigante como consecuencia (119).

El potencial de extrusión del irrigante debe ser considerado al momento de seleccionar el sistema de irrigación. La lectura de los resultados debe ser criteriosa preponderando aquellos estudios que repliquen el entorno apical con precisión. No es razonable comparar los métodos de administración del irrigante (es decir, irrigación con aguja, el sistema EV o SAF) con los métodos de activación en términos de extrusión (AMD, IS, IUP, PIPS y Xp-Endo Finisher®). Esto es debido a que la activación intenta generar un movimiento turbulento del irrigante para lograr

mayor alcance del mismo, pudiendo resultar en la extravasación del líquido (120,121).

La velocidad de irrigación, el tipo de aguja, la profundidad de inserción y la técnica de agitación tienen un efecto significativo sobre la extrusión. La aguja de extremo abierto extruye más irrigante que la cerrada, sin embargo, la extrusión disminuye a medida que las agujas se alejan de la medida de trabajo. El diámetro de constricción apical no influyó en los resultados (122). Por otro lado, tanto el sistema EV (123), como el SAF (72), se comportan muy bien en términos de extrusión, siendo prácticamente nulos.

Al comparar las técnicas de activación, las puntas PIPS son las que mayor cantidad de irrigante extravasan (119). La AMD extruye significativamente más líquido que la IS y la IUP (122). Entre la IS y la IUP, la primera genera un menor extravasado del irrigante, quizás debido a la menor potencia (123). No se encuentran diferencias significativas entre la activación con EA y XP-Endo Finisher® (119). El líquido extruido durante la activación con PIPS se distribuye más lejos del ápice debido al mayor alcance que tiene esta técnica (124). La curvatura del conducto radicular no tiene un efecto significativo sobre la extrusión del irrigante (125).

5. CONCLUSIONES

El objetivo principal del tratamiento endodóntico es la prevención y el control de la infección del sistema de conductos radiculares.

La presencia de microorganismos organizados en biofilms, la compleja anatomía en la que se encuentran y las limitaciones de la tecnología disponible, hacen que cumplir con estos objetivos no sea una tarea sencilla de lograr.

El tratamiento endodóntico se sigue basando en el uso de instrumentos metálicos para limpiar y conformar los canales principales del sistema de conductos radiculares, complementando con agentes desinfectantes para lograr la limpieza de aquellas zonas que no son tocadas por el instrumento. Si bien las características de los nuevos instrumentos permiten tratar casos con anatomías más complejas, aún no hemos alcanzado el objetivo de esterilidad deseada en el conducto radicular.

El hipoclorito de sodio sigue siendo el agente antimicrobiano de elección, por ser el más eficaz. Sin embargo, no ha sido capaz de lograr la eliminación completa de los microorganismos dentro del canal, aunque disminuye significativamente la concentración de los mismos.

La clorhexidina, el EDTA y el ácido cítrico se siguen utilizando como complemento del tratamiento. Ninguno ha demostrado ser más efectivo o producir un resultado de tratamiento más favorable que el hipoclorito de sodio cuando se usa solo.

Para que la sustancia irrigante actúe debe haber contacto con la pared del canal, por ello, la agitación es fundamental para ayudar a distribuir e intercambiar la solución dentro del espacio radicular y mejorar la efectividad del antiséptico.

La forma más frecuente y difundida de aplicar el irrigante en el sistema de conductos es mediante jeringa y aguja, sin embargo, si no se tienen los recaudos necesarios, resulta muy difícil lograr que el irrigante penetre en los milímetros más apicales. Para ello, una conformación adecuada y la correcta selección de la aguja son fundamentales. De esta forma se producirá un intercambio sustancial del irrigante en la porción más apical del canal.

Sin embargo, no podemos entender al canal radicular como una estructura cónica lisa y simple. Las múltiples anfractuosidades que tapizan las paredes del canal hacen necesaria la agitación del líquido irrigado para intentar alcanzarlas.

Para ello podemos valernos de técnicas de agitación manuales o asistidas por máquinas.

Dentro de las técnicas manuales, la AMD ha demostrado tener mejores resultados en limpieza y desinfección al compararla con la irrigación con jeringa y aguja, siendo una técnica sencilla, de bajo costo y al alcance de cualquier clínico.

Las técnicas de agitación asistidas por máquinas demuestran mejores resultados que las manuales, sin embargo requieren de aparatología específica sumamente costosa en algunos casos. Por otro lado, no existe una diferencia sustancial entre ellas que hagan al clínico inclinarse hacia una u otra.

En términos de seguridad, siempre que el clínico sea criterioso a la hora de seleccionar el método de irrigación y lo aplique de forma correcta, las posibilidades de extravasado de irrigante, cualquiera sea la técnica empleada, no generarían un daño significativo para el paciente.

El enfoque del avance tecnológico debería ir en dirección hacia nuevas maneras de lograr cumplir con el objetivo biológico de esterilidad del canal radicular. Hasta entonces, la agitación del irrigante por los métodos mencionados supone la mejor manera de aproximarse al ideal.

6. REFERENCIAS

1. Real Academia Española. irrigar - Definición - Diccionario de la lengua española | RAE - ASALE
2. C. Boutsoukis , DDS, MSc P, L. W. M. van der Sluis , DDS P. Syringe Irrigation: Blending Endodontics and Fluid Dynamics. In: Basrani B, editor. Endodontic Irrigation: Chemical Disinfection of the Root Canal System Irrigation. Amsterdam, LA , The Netherlands: Springer International Publishing Switzerland; 2015. p. 45–64.
3. Haapasalo M, Shen Y, Qian W, Gao Y. Irrigation in Endodontics. Dent Clin North Am. 2010;54(2):291–312.
4. Sedgley C. Root canal irrigation--a historical perspective. J Hist Dent. 2004;52(2):61–5.
5. Calvin D. Torneck , DDS, MS F. Foreword. In: Basrani B, editor. Endodontic Irrigation: Chemical Disinfection of the Root Canal System Irrigation. Toronto, ON, Canada: Springer International Publishing Switzerland; 2015. p. vii–viii.
6. PETERS O, LAIB A, GOHRING T, BARBAKOW F. Changes in Root Canal Geometry after Preparation Assessed by High-Resolution Computed Tomography. J Endod. 2001;27(1):1–6.
7. Ricucci D, Siqueira Jr. JF. Fate of the Tissue in Lateral Canals and Apical Ramifications in Response to Pathologic Conditions and Treatment Procedures. J Endod. 2010;36(1):1–15.
8. Boutsoukis C, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Wesselink PR, van der Sluis LWM. Evaluation of Irrigant Flow in the Root Canal Using Different Needle Types by an Unsteady Computational Fluid Dynamics Model. J Endod. 2010;36(5):875–9.
9. Gu L sha, 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.
10. Hall-Stoodley L, Costerton JW, Stoodley P. Bacterial biofilms: From the natural environment to infectious diseases. Nat Rev Microbiol. 2004;2(2):95–108.

11. Ricucci D, Siqueira JF. Biofilms and apical periodontitis: Study of prevalence and association with clinical and histopathologic findings. *J Endod.* 2010;36(8):1277–88.
12. Svensater G, Bergenholtz G, Svenska G. Biofilms in endodontic infections. *Endod Top.* 2004;9(1):27–36.
13. Siqueira JF, Rôças IN. Diversity of Endodontic Microbiota Revisited. *J Dent Res.* 2009;88(11):969–81.
14. de Paz LC. Redefining the Persistent Infection in Root Canals: Possible Role of Biofilm Communities. *J Endod.* 2007;33(6):652–62.
15. SCHAUDINN C, CARR G, GORUR A, JARAMILLO D, COSTERTON JW, WEBSTER P. Imaging of endodontic biofilms by combined microscopy (FISH/cLSM - SEM). *J Microsc.* 2009;235(2):124–7.
16. Haapasalo M, Ørstavik D. In vitro Infection and of Dentinal Tubules. *J Dent Res.* 1987;66(8):1375–9.
17. Peters LB, Wesselink PR, Buijs JF, Van Winkelhoff AJ. Viable bacteria in root dentinal tubules of teeth with apical periodontitis. *J Endod.* 2001;27(2):76–81.
18. Kottoor J, Albuquerque D, Velmurugan N, Kuruvilla J. Root Anatomy and Root Canal Configuration of Human Permanent Mandibular Premolars: A Systematic Review. *Anat Res Int.* 2013;2013:1–14.
19. Weine FS, Healey HJ, Gerstein H, Evanson L. Canal configuration in the mesiobuccal root of the maxillary first molar and its endodontic significance. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol.* 1969;28(3):419–25.
20. Vertucci FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1984;58(5):589–99.
21. Ahmed HMA, Versiani MA, De-Deus G, Dummer PMH. A new system for classifying root and root canal morphology. *Int Endod J.* 2017;50(8):761–70.
22. Gu L, Wei X, Ling J, Huang X. A Microcomputed Tomographic Study of Canal Isthmuses in the Mesial Root of Mandibular First Molars in a Chinese Population. *J Endod.* 2009;35(3):353–6.
23. Versiani MA, Pécora JD, De Sousa-Neto MD. Flat-oval root canal preparation

- with self-adjusting file instrument: A micro-computed tomography study. *J Endod.* 2011;37(7):1002–7.
24. Versiani MA, Leoni GB, Steier L, De-Deus G, Tassani S, Pécora JD, et al. 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.
 25. Siqueira JF, Alves FRF, Versiani MA, Rôças IN, Almeida BM, Neves MAS, et al. Correlative bacteriologic and micro-computed tomographic analysis of mandibular molar mesial canals prepared by self-adjusting file, reciproc, and twisted file systems. *J Endod.* 2013;39(8):1044–50.
 26. Paqué F, Laib A, Gautschi H, Zehnder M. Hard-Tissue Debris Accumulation Analysis by High-Resolution Computed Tomography Scans. *J Endod.* 2009;35(7):1044–7.
 27. Paqué F, Al-Jadaa A, Kfir A. Hard-tissue debris accumulation created by conventional rotary versus self-adjusting file instrumentation in mesial root canal systems of mandibular molars. *Int Endod J.* 2012;45(5):413–8.
 28. Endal U, Shen Y, Knut Å, Gao Y, Haapasalo M. A high-resolution computed tomographic study of changes in root canal isthmus area by instrumentation and root filling. *J Endod.* 2011;37(2):223–7.
 29. Gulabivala K, Patel B, Evans G, Ng Y-L. Effects of mechanical and chemical procedures on root canal surfaces. *Endod Top.* 2005;10(1):103–22.
 30. Clegg MS, Vertucci FJ, Walker C, Belanger M, Britto LR. The Effect of Exposure to Irrigant Solutions on Apical Dentin Biofilms In Vitro. *J Endod.* 2006;32(5):434–7.
 31. Estrela C, Estrela CRA, Barbin EL, Spanó JCE, Marchesan MA, Pécora JD. Mechanism of action of sodium hypochlorite. *Braz Dent J.* 2002;13(2):113–7.
 32. Steier L, Rossi-Fedele G, Acauan M, Bianchini P, Souza MA, De Figueiredo JAP. Analysis of bovine pulp tissue dissolution ability by photodynamic therapy: An in vitro study. *Rev Odonto Cienc.* 2011;26(1):61–4.
 33. MOORER WR, WESSELINK PR. Factors promoting the tissue dissolving capability of sodium hypochlorite. *Int Endod J.* 1982;15(4):187–96.

34. Metzger Z. The self-adjusting file (SAF) system: An evidence-based update. *J Conserv Dent*. 2014;17(5):401–19.
35. 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.
36. Cameron JA. The synergistic relationship between ultrasound and sodium hypochlorite: A scanning electron microscope evaluation. *J Endod*. 1987;13(11):541–5.
37. Emilson CG, Ericson T, Heyden G, Magnusson BC. Uptake of chlorhexidine to hydroxyapatite. *J Periodontal Res*. 1973;8(s12):17–21.
38. Davies A. The mode of action of chlorhexidine. Vol. 8, *Journal of Periodontal Research*. 1973. p. 68–75.
39. Mohammadi Z. Chlorhexidine gluconate, its properties and applications in endodontics. *Iran Endod J*. 2008;2(4):113–25.
40. Basrani B. Chlorhexidine Gluconate. *Aust Endod J*. 2005;31(2):48–52.
41. B. Basrani , DDS, MSc, RCDC (F) P, G. Malkhassian , DDS, MSc F. 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. p. 99–116.
42. Basrani BR, Manek S, Sodhi RNS, Fillery E, Manzur A. Interaction between Sodium Hypochlorite and Chlorhexidine Gluconate. *J Endod*. 2007;33(8):966–9.
43. Yeung W, Raldi DP, Cunha RS, Mello I. Assessment of smear layer removal protocols in curved root canals. *Aust Endod J*. 2014;40(2):66–71.
44. Ng YL, Mann V, Gulabivala K. A prospective study of the factors affecting outcomes of nonsurgical root canal treatment: Part 1: Periapical health. *Int Endod J*. 2011;44(7):583–609.
45. Baumgartner JC, Brown CM, Mader CL, Peters DD, Shulman JD. A scanning electron microscopic evaluation of root canal debridement using saline, sodium hypochlorite, and citric acid. *J Endod*. 1984;10(11):525–31.

46. Taneja S, Mishra N, Malik S. Comparative evaluation of human pulp tissue dissolution by different concentrations of chlorine dioxide, calcium hypochlorite and sodium hypochlorite: An in vitro study. *J Conserv Dent.* 2014;17(6):541.
47. Zehnder M, Schmidlin P, Sener B, Waltimo T. Chelation in root canal therapy reconsidered. *J Endod.* 2005;31(11):817–20.
48. Cameron JA. The effect of ultrasonic endodontics on the temperature of the root canal wall. *J Endod.* 1988;14(11):554–9.
49. Zehnder M, Paque F. Disinfection of the root canal system during root canal. *Endod Top.* 2011;(9):58–73.
50. Guerisoli DMZ, Marchesan MA, Walmsley AD, Lumley PJ, Pecora JD. Evaluation of smear layer removal by EDTAC and sodium hypochlorite with ultrasonic agitation. *Int Endod J.* 2002;35(5):418–21.
51. Basrani BR, Manek S, Fillery E. Using Diazotization to Characterize the Effect of Heat or Sodium Hypochlorite on 2.0% Chlorhexidine. *J Endod.* 2009;35(9):1296–9.
52. Pereira MR, Morouço P, Vasconcelos I, Franco M, Alves N, Ginjeira A. Computer fluid dynamics as a tool for analysis of endodontic irrigation. *AIP Conf Proc.* 2018;1978:1–5.
53. Paper C, Marques M. Fluid Dynamics in Root Canal Procedures in Root Canal Procedures. 2016;(January 2011).
54. Boutsoukias C, Lambrianidis T, Kastrinakis E, Bekiaroglou P. Measurement of pressure and flow rates during irrigation of a root canal ex vivo with three endodontic needles. *Int Endod J.* 2007;40(7):504–13.
55. Ram Z. Effectiveness of root canal irrigation. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol.* 1977;44(2):306–12.
56. 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.
57. Goode N, Khan S, Eid AA, Niu LN, Gosier J, Susin LF, et al. Wall shear stress effects of different endodontic irrigation techniques and systems. *J*

Dent. 2013;41(7):636–41.

58. Gulabivala K, Ng YL, Gilbertson M, Eames I. The fluid mechanics of root canal irrigation. *Physiol Meas.* 2010;31(12).
59. Senia ES, Marshall FJ, Rosen S. The solvent action of sodium hypochlorite on pulp tissue of extracted teeth. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol.* 1971;31(1):96–103.
60. 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.
61. Boutsoukias C, Gogos C, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, van der Sluis LWM. 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.
62. Boutsoukias C, Gogos C, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, van der Sluis LWM. The effect of apical preparation size on irrigant flow in root canals evaluated using an unsteady Computational Fluid Dynamics model. *Int Endod J.* 2010;43(10):874–81.
63. Boutsoukias C, Lambrianidis T, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Wesselink PR, et al. 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.
64. Boutsoukias C, Lambrianidis T, Vasiliadis L. Clinical relevance of standardization of endodontic irrigation needle dimensions according to the ISO 9626:1991 and 9626:1991/Amd 1:2001 specification. *Int Endod J.* 2007;40(9):700–6.
65. 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.
66. Salzgeber RM, Brilliant JD. An in vivo evaluation of the penetration of an irrigating solution in root canals. *J Endod.* 1977;3(10):394–8.

67. Hülsmann M, Hahn W. Complications during root canal irrigation--literature review and case reports. *Int Endod J.* 2000;33(3):186–93.
68. de Gregorio C, Paranjpe A, Garcia A, Navarrete N, Estevez R, Esplugues EO, et al. Efficacy of irrigation systems on penetration of sodium hypochlorite to working length and to simulated uninstrumented areas in oval shaped root canals. *Int Endod J.* 2012;45(5):475–81.
69. Nielsen BA, Craig Baumgartner J. Comparison of the EndoVac System to Needle Irrigation of Root Canals. *J Endod.* 2007;33(5):611–5.
70. G. Glassman , DDS F, K. Charara D. Apical Negative Pressure: Safety, Efficacy and Efficiency. In: Basrani B, editor. *Endodontic Irrigation: Chemical Disinfection of the Root Canal System Irrigation.* 2015th ed. Toronto , ON , Canada: Springer International Publishing Switzerland; 2015. p. 157–71.
71. G. Glassman , DDS F, K. Charara D. Apical Negative Pressure: Safety, Efficacy and Efficiency. In: Basrani B, editor. *Endodontic Irrigation: Chemical Disinfection of the Root Canal System Irrigation.* Toronto , ON , Canada: Springer International Publishing Switzerland; 2015. p. 157–71.
72. Hof R, Perevalov V, Eltanani M, Zary R, Metzger Z. The Self-adjusting File (SAF). Part 2: Mechanical Analysis. *J Endod.* 2010;36(4):691–6.
73. Jiang LM, Lak B, Eijsvogels LM, Wesselink P, Van Der Sluis LWM. Comparison of the cleaning efficacy of different final irrigation techniques. *J Endod.* 2012;38(6):838–41.
74. Huang TY, Gulabivala K, Ng YL. A bio-molecular film ex-vivo model to evaluate the influence of canal dimensions and irrigation variables on the efficacy of irrigation. *Int Endod J.* 2008;41(1):60–71.
75. Saber SED, Hashem AAR. Efficacy of different final irrigation activation techniques on smear layer removal. *J Endod.* 2011;37(9):1272–5.
76. P. Machtou , DDS, MS P. Manual Dynamic Activation (MDA) Technique. In: Basrani B, editor. *Endodontic Irrigation: Chemical Disinfection of the Root Canal System,*. Diderot , Paris Ile de France , France: Springer International Publishing Switzerland; 2015. p. 149–55.
77. Ruddle C. Endodontic disinfection: Tsunami irrigation. *Saudi Endod J.*

2015;5(1):1.

78. Van Der Sluis LWM, 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.
79. Plotino G, Grande NM, Mercade M, Cortese T, Staffoli S, Gambarini G, et al. Efficacy of sonic and ultrasonic irrigation devices in the removal of debris from canal irregularities in artificial root canals. *J Appl Oral Sci.* 2019;27(0).
80. 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.
81. 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.
82. Urban K, Donnermeyer D, Schäfer E, Bürklein S. Canal cleanliness using different irrigation activation systems: a SEM evaluation. *Clin Oral Investig.* 2017;21(9):2681–7.
83. Conde AJ, Estevez R, Loroño G, Valencia de Pablo, Rossi-Fedele G, Cisneros R. Effect of sonic and ultrasonic activation on organic tissue dissolution from simulated grooves in root canals using sodium hypochlorite and EDTA. *Int Endod J.* 2017;50(10):976–82.
84. Swimberghe RCD, De Clercq A, De Moor RJG, Meire MA. Efficacy of sonically, ultrasonically and laser-activated irrigation in removing a biofilm-mimicking hydrogel from an isthmus model. *Int Endod J.* 2019;52(4):515–23.
85. Haupt F, Meinel M, Gunawardana A, Hülsmann M. Effectiveness of different activated irrigation techniques on debris and smear layer removal from curved root canals: a SEM evaluation. *Aust Endod J.* 2019;1–7.
86. WALMSLEY AD. Ultrasound and root canal treatment: the need for scientific evaluation. *Int Endod J.* 1987;20(3):105–11.
87. 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.

88. 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.
89. 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.
90. Lea SC, Felver B, Landini G, Walmsley AD. Ultrasonic Scaler Oscillations and Tooth-surface Defects. *J Dent Res*. 2009;88(3):229–34.
91. Plotino G, Cortese T, Grande NM, Leonardi DP, Di Giorgio G, Testarelli L, et al. New technologies to improve root canal disinfection. *Braz Dent J*. 2016;27(1):3–8.
92. Weller RN, Brady JM, Bernier WE. Efficacy of ultrasonic cleaning. *J Endod*. 1980;6(9):740–3.
93. 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.
94. DiVito E, Peters OA, Olivi G. Effectiveness of the erbium: YAG laser and new design radial and stripped tips in removing the smear layer after root canal instrumentation. *Lasers Med Sci*. 2012;27(2):273–80.
95. Al Shahrani M, Divito E, Hughes C V., Nathanson D, Huang GTJ. Enhanced removal of enterococcus faecalis biofilms in the root canal using sodium hypochlorite plus photon-induced photoacoustic streaming: An in vitro study. *Photomed Laser Surg*. 2014;32(5):260–6.
96. 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.
97. Jaramillo DE, Aprecio RM, Angelov N, DiVito E MT. Efficacy of photon induced photoacoustic streaming (PIPS) on root canals infected with *Enterococcus faecalis*: A pilot study. *Endod Pr*. 2012;5((3)):28–32.
98. Koch JD, Jaramillo DE, DiVito E, Peters OA. Irrigant flow during photon-induced photoacoustic streaming (PIPS) using Particle Image Velocimetry

- (PIV). *Clin Oral Investig.* 2016;20(2):381–6.
99. 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):e855–60.
 100. De-Deus G, Belladonna FG, de Siqueira Zuolo A, Perez R, Carvalho MS, Souza EM, et al. Micro-CT comparison of XP-endo Finisher and passive ultrasonic irrigation as final irrigation protocols on the removal of accumulated hard-tissue debris from oval shaped-canals. *Clin Oral Investig.* 2019;23(7):3087–93.
 101. Parente JM, Loushine RJ, Susin L, Gu L, Looney SW, Weller RN, et al. Root canal debridement using manual dynamic agitation or the EndoVac for final irrigation in a closed system and an open system. *Int Endod J.* 2010;43(11):1001–12.
 102. Desai P, Himel V. Comparative Safety of Various Intracanal Irrigation Systems. *J Endod.* 2009;35(4):545–9.
 103. SIQUEIRA JF, MACHADO AG, SILVEIRA RM, LOPES HP, UZEDA M. Evaluation of the effectiveness of sodium hypochlorite used with three irrigation methods in the elimination of *Enterococcus faecalis* from the root canal, in vitro. *Int Endod J.* 1997;30(4):279–82.
 104. Rôças IN, Provenzano JC, Neves MAS, Siqueira JF. Disinfecting Effects of Rotary Instrumentation with Either 2.5% Sodium Hypochlorite or 2% Chlorhexidine as the Main Irrigant: A Randomized Clinical Study. *J Endod.* 2016;42(6):943–7.
 105. Rosalin Hongsathavij1 , Yosvimol Kuphasuk1 KR. Effectiveness of platelet-rich fibrin in the management of pain and delayed wound healing. *Eur J Dent.* 2017;11(4):192–5.
 106. Zandi H, Petronijevic N, Mdala I, Kristoffersen AK, Enersen M, Rôças IN, et al. Outcome of Endodontic Retreatment Using 2 Root Canal Irrigants and Influence of Infection on Healing as Determined by a Molecular Method: A Randomized Clinical Trial. *J Endod.* 2019;
 107. Vianna ME, Horz HP, Gomes BPF, Conrads G. In vivo evaluation of microbial reduction after chemo-mechanical preparation of human root canals

- containing necrotic pulp tissue. *Int Endod J.* 2006;39(6):484–92.
108. Boutsoukias C, Kastrinakis E, Lambrianidis T, Verhaagen B, Versluis M, van der Sluis LWM. Formation and removal of apical vapor lock during syringe irrigation: A combined experimental and Computational Fluid Dynamics approach. *Int Endod J.* 2014;47(2):191–201.
 109. Agarwal A, Deore RB, Rudagi K, Nanda Z, Baig MO, Fareez MA. Evaluation of Apical Vapor Lock Formation and comparative Evaluation of its Elimination using Three different Techniques: An in vitro Study. *J Contemp Dent Pract.* 2017;18(9):790–4.
 110. Hsieh YD, Gau CH, Kung Wu SF, Shen EC, Hsu PW, Fu E. Dynamic recording of irrigating fluid distribution in root canals using thermal image analysis. *Int Endod J.* 2007;40(1):11–7.
 111. Siu C, Baumgartner JC. Comparison of the debridement efficacy of the endovac irrigation system and conventional needle root canal irrigation in vivo. *J Endod.* 2010;36(11):1782–5.
 112. Yoo Y-J, Lee W, Kim H-C, Shon W-J, Baek S-H. Multivariate analysis of the cleaning efficacy of different final irrigation techniques in the canal and isthmus of mandibular posterior teeth. *Restor Dent Endod.* 2013;38(3):154.
 113. Lee SJ, Wu MK, Wesselink PR. The effectiveness of syringe irrigation and ultrasonics to remove debris from simulated irregularities within prepared root canal walls. *Int Endod J.* 2004;37(10):672–8.
 114. Sabins RA, Johnson JD, Hellstein JW. 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.
 115. Cameron JA. The use of ultrasonics in the removal of the smear layer: A scanning electron microscope study. *J Endod.* 1983;9(7):289–92.
 116. Jensen SA, Walker TL, Hutter JW, Nicoll BK. Comparison of the cleaning efficacy of passive sonic activation and passive ultrasonic activation after hand instrumentation in molar root canals. *J Endod.* 1999;25(11):735–8.
 117. 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.
118. Lumley PJ, Walmsley AD, Walton RE, Rippin JW. Effect of precurving endosonic files on the amount of debris and smear layer remaining in curved root canals. *J Endod.* 1992;18(12):616–9.
 119. Azim AA, Aksel H, Margaret Jefferson M, Huang GT-J. Comparison of sodium hypochlorite extrusion by five irrigation systems using an artificial root socket model and a quantitative chemical method. *Clin Oral Investig.* 2018;22(2):1055–61.
 120. Yost RA, Bergeron BE, Kirkpatrick TC, Roberts MD, Roberts HW, Himel VT, et al. Evaluation of 4 Different Irrigating Systems for Apical Extrusion of Sodium Hypochlorite. *J Endod.* 2015;41(9):1530–4.
 121. Boutsoukis C, Psimma Z, Van der Sluis LWM. Factors affecting irrigant extrusion during root canal irrigation: A systematic review. *Int Endod J.* 2013;46(7):599–618.
 122. Boutsoukis C, Psimma Z, Kastrinakis E. The effect of flow rate and agitation technique on irrigant extrusion ex vivo. *Int Endod J.* 2014;47(5):487–96.
 123. Gupta J, Nikhil V, Jha P. Corelation between machines assisted endodontic irrigant agitation and apical extrusion of debris and irrigant: A laboratory study. *Sci World J.* 2014;2014.
 124. George R, Walsh LJ. Apical Extrusion of Root Canal Irrigants When Using Er:YAG and Er,Cr:YSGG Lasers with Optical Fibers: An In Vitro Dye Study. *J Endod.* 2008;34(6):706–8.
 125. Psimma Z, Boutsoukis C, Kastrinakis E, Vasiliadis L. Effect of needle insertion depth and root canal curvature on irrigant extrusion ex vivo. *J Endod.* 2013;39(4):521–4.