



Programa de Doctorado en Odontología

Tesis doctoral

Influencia de distintos
procedimientos de activación
sobre la clorhexidina usada como
irrigante endodóntico

Presentada por:

D. Carlos González Fernández

Dirección

Prof. Dr. D. Leopoldo Forner Navarro

Prof^a Dr^a D^a M^a Carmen Llena Puy

Valencia, mayo de 2018

Departament d'Estomatologia, Facultat de Medicina i

Odontologia



VNIVERSITAT ID VALÈNCIA

Departament d'Estomatologia

Unitat Docent de Patologia i Terapèutica Dentàries

D. Leopoldo Forner Navarro y D^a M^a Carmen Llena Puy, Profesor y Profesora Titulares del *Departament d'Estomatologia de la Facultat de Medicina i Odontologia de la Universitat de València*,

hacen constar que,

la tesis doctoral titulada "Influencia de distintos procedimientos de activación sobre la clorhexidina usada como irrigante endodóntico", presentada por el licenciado D. Carlos González Fernández, ha sido realizada bajo nuestra dirección y que reúne las condiciones necesarias para su presentación y defensa.

Lo que firmamos a los efectos oportunos,

A stylized, cursive signature in black ink, likely belonging to Prof. Dr. Forner Navarro.

Prof. Dr. Forner Navarro

A stylized, cursive signature in black ink, likely belonging to Prof. Dr. Llena Puy.

Prof^a Dr^a Llena Puy

Valencia, 7 de mayo de 2018.

Agradecimientos

*Quisiera dedicar este texto a todos aquellos que han hecho posible que la idea se
convirtiese en proyecto, y el proyecto en realidad.*

*A mis directores, la dra. Llena y el dr. Forner. Al que fuera mi tutor en mi
etapa en el master, el dr. Lozano.*

A mi familia.

*Y de manera especial, a mi prometida, pues su apoyo diario se hace indis-
pensable en esta carrera de fondo.*

Índice.

1. Introducción.	11
1.1. Etiología de la patología del complejo dentino-pulpar.	12
1.2. Tratamiento de la patología del complejo dentino-pulpar.	14
1.2.1. Instrumentación.	14
1.2.2. Irrigación.	16
1.2.2.1. Soluciones irrigantes endodónticas.	19
A. Hipoclorito sódico.	19
B. Clorhexidina.	22
C. EDTA.	26
1.2.2.2. Protocolo de irrigación.	28
1.3. Activación de los irrigantes.	28

1.3.1.Métodos de activación.	29
1.3.1.1. Irrigación ultrasónica pasiva.	29
1.3.1.2. Activación sónica.	32
1.3.2.Influencia de la activación sobre la temperatura de los irrigantes.	34
1.4.Justificación.	37
1.5.Objetivos e hipótesis.	39
1.5.1.Objetivos.	39
1.5.1.1.Generales.	39
1.5.1.2.Específicos.	39
1.5.2. Hipótesis.	40
1.5.2.1. De trabajo.	40
1.5.2.2. Nula.	41
2. Metodología.	43
2.1. Grupos de estudio.	44

2.2. Muestra.	48
2.3. Procedimiento.	48
2.4. Análisis estadístico.	51
3. Resultados.	53
3.1. Datos obtenidos.	54
3.1.1. Comparaciones por grupo y tiempo de activación.	55
3.1.2. Comparaciones entre variables concretas.	57
3.1.2.1. Activación ultrasónica.	60
3.1.2.2. Activación sónica.	68
3.1.2.3. Comparación entre sistemas.	70
3.2. Discusión.	72
4. Conclusiones finales.	83
5. Referencias bibliográficas.	87

Introducción

1. Introducción

1.1. Etiología de la patología del complejo dentinopulpar.

Inicialmente, la patología infecciosa del complejo dentinopulpar comienza con la invasión del sistema de conductos por microflora oral autóctona. El ambiente pulpar proporciona un hábitat selectivo para una flora variada, compuesto tanto por especies Gram positivas como Gram negativas, en el que predominan los gérmenes anaerobios. Entre los microorganismos más frecuentemente encontrados antes del tratamiento endodóntico pueden identificarse: estreptococos, lactobacilos, gérmenes Gram positivos facultativos, bacilos facultativos y anaerobios Gram positivos, cocos anaerobios Gram positivos y bacilos anaerobios Gram negativos. Colectivamente, esta comunidad polimicrobiana adaptada al hábitat, que se alberga en el

conducto radicular en forma de *biofilms*, capaces incluso de penetrar en los túbulos dentinarios, tiene diversas propiedades biológicas y patológicas, no obstante, no existe una correlación con la sintomatología clínica presente (1-4).

Además, los microorganismos también se encuentran de forma persistente en los conductos de dientes que presentan un fracaso endodóntico, siendo predominantes los Gram positivos. Los *E. faecalis* -anaerobios facultativos-, son unos de los microorganismos aislados con mayor frecuencia, no obstante, es muy común en estos casos hallar infecciones polimicrobianas con anaerobios estrictos (5).

A pesar de la defensa del sistema inmune, el cuerpo no es capaz de eliminar los microorganismos albergados en el conducto radicular, siendo por lo tanto, una patología no autolimitada (1). En consecuencia, el tratamiento endodóntico debe enfocarse hacia la eliminación y el control de la infección, a través de la instrumentación y de la irrigación del sistema de conductos (2).

1.2. Tratamiento de la patología del complejo dentinopulpar.

Como se mencionaba anteriormente, el tratamiento de la patología endodóntica debe basarse en la correcta desinfección del sistema de conductos, a través de la instrumentación y de la irrigación, las cuales no pueden considerarse de forma aislada, si no como un todo, haciendo alusión por lo tanto al concepto de preparación biomecánica o quimicomecánica (6).

No obstante, para no entremezclar ambas partes del tratamiento, se expondrán de forma separada.

1.2.1. Instrumentación.

El objetivo primordial de la preparación mecánica del sistema de conductos es la curación de la patología existente y la prevención, si aún no existía, de su extensión a los tejidos periapicales mediante la consecución de los siguientes puntos (6):

- remoción del tejido vital y necrótico de los conductos principales,
- creación de espacio suficiente para la irrigación y/o la medicación,
- preservación de la integridad del sistema de conductos y localización de la anatomía apical del conducto,
- prevención de daños iatrogénicos del sistema de conductos y de la estructura radicular,
- facilitar la obturación radicular,
- prevención de la extensión de la irritación y/o la infección de los tejidos periapicales,
- preservar dentina sana para permitir la reconstrucción dental y la función del diente a largo plazo.

Sin embargo, durante la preparación mecánica de los conductos, sea de forma manual o rotatoria, no llega a tocarse al menos un 35% de la superficie de los conductos radiculares (7). La literatura científica muestra que ningún sistema rotatorio de instrumentación con limas de níquel-titanio (NiTi) es capaz de lograr una completa limpieza de las paredes de los conductos radiculares (8-11). Ello es debido a que la mayoría de diseños de instrumentos y

técnicas están basados en la configuración cónica de la anatomía radicular mostrada en las proyecciones vestibulo-linguales de las radiografías, obviando las diferentes configuraciones anatómicas que pueden darse en sentido mesio-distal (12). Por tanto, en las zonas sin instrumentar es lógico pensar que se encuentren microorganismos.

1.2.2. Irrigación.

Complementariamente a la instrumentación se efectúa una irrigación del sistema de conductos, cuyos principales objetivos a conseguir engloban aspectos mecánicos, químicos y biológicos (13,14):

- acción germicida y bactericida,
- amplio espectro antimicrobiano y una alta eficacia frente a microorganismos anaerobios y facultativos que conforman *biofilms*,
- estabilidad de la solución,
- prolongado y mantenido efecto antimicrobiano,
- actividad en presencia de sangre, suero y derivados proteicos de tejido,

- inactivación de endotoxinas,
- disolución de tejido pulpar necrótico remanente,
- disolución de tejido orgánico e inorgánico,
- prevención de la formación de barrillo dentinario durante la instrumentación o su disolución una vez formado,
- eliminación de detritus del interior del conducto,
- ausencia de toxicidad,
- ausencia de efecto cáustico para los tejidos periodontales,
- capacidad de no interferir en la reparación de tejidos periapicales,
- ausencia de provocación de una reacción anafiláctica,
- ausencia de carcinogenicidad,
- lubricación del conducto,
- consecución de una baja tensión superficial,
- ausencia de discoloraciones dentales,
- ausencia de alteración del sellado de los materiales ,de obturación, de cementado y de reconstrucción,
- facilidad de uso,

- bajo coste.

Los irrigantes comúnmente utilizados actualmente se clasifican de la siguiente manera (15):

- I. Agentes químicos
 - A. Agentes disolventes de tejido. Hipoclorito sódico (NaOCl).
 - B. Agentes antibacterianos.
 1. Bacteriostáticos. Clorhexidina (CHX), algunos antibióticos.
 2. Bactericidas. Algunos antibióticos, NaOCl.
 - C. Agentes quelantes:
 1. Débiles. Ácido. etidrónico o 1-hidroxietilideno-1,1-bisfosfonato (HEBP).
 2. Fuertes. Ácido etilendiaminotetraacético (EDTA).
 - D. Combinación de productos (disolventes de tejido y efecto antibacteriano): MTAD, 3% doxiciclina, 4,25% ácido cítrico y detergente (Dentsply Sirona, York, PA, EEUU); QMix, mezcla de CHX, EDTA y detergente (Dentsply Sirona, York, PA, EEUU); SmearClear, EDTA 17%, cetrimida y detergente

(Kerr, Bioggio, Suiza); Tetraclean, igual que MTAD con menor concentración de doxiciclina (Ogna Laboratori Farmaceutici, Milán, Italia).

II. Agentes Naturales. Agentes antibacterianos: té verde, Triphala.

1.2.2.1. Soluciones irrigantes endodónticas.

La literatura científica señala como irrigante principal al hipoclorito de sodio, no obstante debe emplearse junto a otras sustancias para conseguir mejores resultados en lo que a desinfección del sistema de conductos se refiere, como son un antiséptico, como la clorhexidina, y un quelante, como el EDTA (13,14). A continuación se describen con mayor detalle dichas soluciones irrigantes.

A. Hipoclorito sódico.

El hipoclorito sódico se produjo por primera vez en 1789 en Javelle, Francia, y tiene una larga historia en me-

dicina y odontología, siendo popular incluso en la actualidad. Durante la primera Guerra Mundial, el químico Henry Drysdale Dakin y el cirujano Alexis Carrel extendieron su uso como solución tampón al 0,5% para la irrigación de heridas infectadas (16).

La solución de hipoclorito sódico es conocida comúnmente como lejía, siendo usado frecuentemente como desinfectante o como agente blanqueante. Es el medicamento de elección durante el tratamiento de conductos dada su eficacia frente a organismos patogénicos y en la disolución de la pulpa. Sus características principales son (14):

- Deseables
 - efectivo agente antimicrobiano,
 - excelente disolvente de tejido orgánico,
 - acción rápida,
 - lubricante.
- No deseables:
 - tóxico (en función de su uso),
 - ausencia de sustentividad,
 - corrosivo,

- mal olor,
- sólo disuelve la parte orgánica del tejido.

Como irrigante endodóntico, el régimen de irrigación con hipoclorito sódico que mayor efectividad presenta es al 5,25% de concentración durante 40 minutos (17). Sin embargo, se ha visto que, clínicamente, la eficacia en la reducción de bacterias del sistema de conductos es equiparable entre altas y bajas concentraciones (18,19). El hipoclorito sódico en concentraciones altas tiene mayor capacidad de disolver tejido (20), aunque también presenta mayor toxicidad (21). Por lo tanto, si se utilizan concentraciones bajas de hipoclorito, estaría recomendado el uso de un mayor volumen de irrigante y con una mayor frecuencia de irrigación para compensar las limitaciones que presenta utilizar una concentración baja (22).

En el primer estudio que evalúa la penetración en los túbulos dentinarios del hipoclorito se observaron profundidades comprendidas entre 77 y 300 μm , teniendo en cuenta las variables de concentración, tiempo y temperatura. Se observó que al utilizar el 1% de concentración al 6% sólo se aumentaba la profundidad de penetración en

un 30-50%. Fue posible especular que a partir de los 2 minutos se pierde la mayor parte de actividad del hipoclorito y también se vio que con el hipoclorito a 37°C y 45°C se obtuvieron mayores profundidades. Por lo tanto, se sugiere que las tres variables estudiadas producen un efecto sumatorio favorable sobre la penetración en los túbulos dentinarios (23).

B. Clorhexidina.

La clorhexidina fue desarrollada hace más de 50 años en la Industria Química Imperial, en Inglaterra, y fue comercializada por primera vez en el Reino Unido en 1953 como crema antiséptica (24). Desde 1957 ha sido utilizada como desinfectante de carácter general y también para el tratamiento de infecciones de la piel, los ojos y la garganta tanto en humanos como en animales (24,25).

La clorhexidina pertenece a la familia de las polibiguanidas antibacterianas, compuesta de dos anillos simétricos de 4-clorofenil y dos grupos biguanida conectados por una cadena central de hexametileno. Se trata de una mo-

lécua básica fuerte y es estable en forma de sal. Las sales originales eran acetato de clorhexidina e hidrocioruro de clorhexidina, las cuales eran poco solubles en agua. Por lo tanto, fueron reemplazadas por la sal de digluconato de clorhexidina, la cual es fácilmente soluble (26,27).

La clorhexidina es un agente antimicrobiano de amplio espectro, que actúa sobre bacterias Gram positivas y Gram negativas y levaduras (28). Dependiendo de la concentración empleada, puede presentar tanto efectos bacteriostáticos como bactericidas, según sea baja o alta su concentración respectivamente (29).

La CHX se utiliza, habitualmente, a una concentración de entre el 0,12% y el 2%, con un nivel de toxicidad tisular extremadamente bajo, tanto local como sistémicamente (30). En Odontología tiene gran variedad de usos, desde controlar la formación de placa, prevenir la gingivitis, en la prevención de la osteítis alveolar postextracción, hasta en la candidiasis oral (31). El uso *in vivo* de CHX al 2% como irrigante endodóntico muestra una alta capacidad antimicrobiana, lo cual le faculta para ser usada con este fin (32). En un estudio realizado por Kuruvilla y Kamath no se

hallaron diferencias significativas entre la capacidad antimicrobiana del NaOCl respecto a la CHX, no obstante, se observó que la mezcla de ambas soluciones irrigantes daba lugar a un mayor poder antimicrobiano (33). En esta línea, otro estudio muestra que es posible reducir hasta en un 92% la carga bacteriana utilizando CHX como irrigante, señalando la buena capacidad antimicrobiana de esta sustancia (34). Por otra parte, la CHX presenta sustantividad, uniéndose a superficies con proteínas ácidas, como la hidroxiapatita, y es liberada gradualmente en forma activa de catión, siendo esta propiedad mayor en forma de solución que en forma de gel (35).

A pesar de su utilidad como agente antimicrobiano, la CHX no es capaz de disolver tejido orgánico, al contrario que el NaOCl, haciéndolo éste más rápido cuanto mayor sea su concentración (36). Aunque se ha demostrado una mayor eficacia resultante de la mezcla de ambas soluciones irrigantes, el hecho de realizar esta combinación desencadena la formación de un precipitado que actúa como barrillo químico, que reduce la permeabilidad dentinaria en el tercio apical, siendo recomendable evitarlo (37);

además, éste ha demostrado ser citotóxico, principalmente a corto plazo (38). En este precipitado, resultante de la combinación de NaOCl y CHX, aparece como subproducto la paracloroanilina o 4-cloroanilina (39). Este compuesto es un producto tóxico de la degradación de la CHX, siendo considerado como un posible carcinógeno para los seres humanos, dada la suficiente evidencia existente en animales (40). A fin de evitar la formación de este compuesto, se recomienda el uso de un agente intermedio entre la aplicación de NaOCl y CHX, siendo el más eficaz el ácido cítrico, aunque no presenta diferencias estadísticamente significativas respecto al suero salino (41).

Las características de la clorhexidina se resumen a continuación (42):

- amplio espectro de actividad frente a bacterias Gram positivas y Gram negativas,
- efectivo antifúngico, especialmente contra *Candida albicans*,
- sustentividad en la dentina hasta 12 semanas,

- posibilidad de retrasar la contaminación en dientes con tratamientos de conductos que provenga de filtración de la restauración coronal,
- la medicación y/o irrigación con CHX no incrementará la filtración apical en los conductos obturados,
- aumenta significativamente la integridad de la capa híbrida y la estabilidad de la unión resina-dentina,
- la dentina y sus componentes, la biomasa microbiana y el exudado inflamatorio en sistema de conductos pueden reducir o inhibir su actividad antimicrobiana,
- biocompatibilidad aceptable,
- menor efecto sobre biofilms que NaOCl,
- poca o nula capacidad de disolver tejido orgánico o inorgánico,
- la combinación de NaOCl y CHX causa cambios de color y precipitación, lo cual puede interferir en el sellado de la obturación radicular.

C. EDTA.

Es el acrónimo utilizado para referirse al compuesto químico ácido etilendiaminotetraacético, un ácido poli-

amino carboxílico. Fue descrito por primera vez por Ferdinand Munz en 1935, quien lo preparó a partir de los ácidos etilendiamino y cloroacético. Se utiliza como solución irrigante gracias a su propiedad quelante y de remoción de la porción mineralizada del barrillo dentinario. El uso de EDTA por sí solo no puede, normalmente, remover el barrillo dentinario de forma efectiva, por tanto, se hace necesario el uso previo de un agente proteolítico (NaOCl) para eliminar la parte orgánica del barrillo dentinario (43). Sus características son las siguientes (14):

- capacidad de remoción de la parte inorgánica del barrillo dentinario,
- capacidad de remover el barrillo dentinario después de irrigar con NaOCl,
- contribuye a la eliminación de bacterias de los conductos,
- posible efecto antifúngico,
- desmineraliza la dentina (20-50 μm),
- presenta baja toxicidad.

1.2.2.2. Protocolo de irrigación.

Para una irrigación óptima deben usarse varios irrigantes. Como sugieren los autores Kandaswamy y Basrani en sus respectivas publicaciones, durante la fase de instrumentación se utilizará como irrigante hipoclorito de sodio, el cual se acompañará, posteriormente, de alguna solución coadyuvante como un agente quelante, como el EDTA, y un antiséptico, como la clorhexidina, para finalizar el protocolo.

Como ya se ha dicho, la irrigación es clave en el éxito del tratamiento de conductos, por lo que además de emplear distintas soluciones mediante protocolos de irrigación durante el tratamiento, existe la posibilidad de utilizar diversos métodos coadyuvantes basados en la activación mecánica del irrigante.

1.3. Activación de los irrigantes.

Como se mencionaba anteriormente en el epígrafe correspondiente a la instrumentación del sistema de conduc-

tos, no es posible obtener de forma completa su limpieza, teniendo, por tanto, que recurrir a una correcta irrigación para conseguir una desinfección y limpieza adecuada del sistema de conductos como se ha venido explicando.

La eficacia de la irrigación radica en el mecanismo de acción del irrigante, así como en la capacidad de ponerlo en contacto con todos los elementos que se encuentran en el interior del conducto y debe remover (44,45).

En el siguiente epígrafe se exponen aquellos métodos que se basan en la utilización de ondas sónicas o ultrasónicas para realizar la activación de los irrigantes dentro del sistema de conductos.

1.3.1. Métodos de activación

1.3.1.1. Irrigación Ultrasónica Pasiva

Los dispositivos ultrasónicos se introdujeron en el campo de la endodoncia en 1957 por Richman (46), pero durante la preparación del conducto era imposible controlar

la forma del conducto, dando lugar a perforaciones apicales e irregularidades (47,48); sin embargo, se observó que para la irrigación de los conductos resultaba ser efectivo. Se han descrito dos tipos de irrigación ultrasónica, por una parte, la que se utiliza conjuntamente con la instrumentación y otra en la que no se instrumenta el conducto, denominada irrigación ultrasónica pasiva, también conocida como PUI, de sus siglas en inglés (*Passive Ultrasonic Irrigation*). Esta última fue descrita por primera vez en 1980 por Weller y cols. (49, 50). Éste es un método consistente en la aplicación de ultrasonidos mediante un elemento oscilante utilizando frecuencias de 30 kHz, con dos efectos principales, la cavitación y la transmisión acústica, aunque su mecanismo de acción aún no ha sido totalmente esclarecido (51).

Por un lado, la transmisión acústica produce un movimiento rápido en un líquido con un patrón circular o similar a un remolino alrededor de un instrumento en vibración (52). Lo que ocurre en el interior del conducto se ha descrito como microtransmisión acústica. Esto se define como la transmisión que ocurre cerca de pequeños obs-

táculos colocados dentro de un campo de sonido, cerca de pequeñas fuentes de sonido, membranas vibratorias o cables, que surgen de las fuerzas de fricción entre un límite y un medio que llevan vibraciones de frecuencia circular.

Por otro lado, la cavitación es la formación de cavidades en un líquido a través de fuerzas de tensión inducidas por flujos de alta velocidad o gradientes de flujo. Estas burbujas se expanden y se colapsan rápidamente produciendo un foco de energía induciendo ruido y daños intensos. La cavitación acústica podría definirse como la formación de nuevas burbujas o la expansión, contracción y/o distorsión de burbujas ya presentes en un líquido, acoplado el proceso como energía acústica (53).

Se ha demostrado que incluso utilizando la irrigación ultrasónica pasiva a baja intensidad, la limpieza que se consigue en el sistema de conductos es mayor que si solamente se aplicase el irrigante mediante una jeringa convencional y que ésta aumenta a medida que se aumenta la intensidad (54). Así mismo independientemente del irrigante utilizado, bien sea CHX o NaOCl, la remoción de

detritus del interior de los conductos aumenta, no obstante, ésta es mayor en el caso de usar NaOCl por las propias características de dicha solución frente a la CHX (55). A pesar de esto, la activación de CHX mediante PUI resulta en una mayor actividad antimicrobiana y en un efecto residual antimicrobiano también mayor, explicado por la mayor penetración que se consigue en los biofilms bacterianos, aunque la estructura de estos no se vea afectada (56).

1.3.1.2. Activación sónica

Como alternativa a la irrigación mediante ultrasonidos, existe la posibilidad de utilizar dispositivos basados en la aplicación de energía sónica, la cual opera en un rango de frecuencias inferior a la ultrasónica. A continuación se describen dos dispositivos para llevar a cabo la irrigación sónica.

A. Endoactivator™ (Dentsply Sirona, Tulsa, EE.UU.)

Consiste en un método de activación de los irrigantes basado en energía sónica, utilizando frecuencias entre 1000 y 6000 Hz. Los patrones de oscilación de este sistema difieren al de la PUI, dando lugar a un nódulo cerca del inicio del inserto y un antinódulo en la punta. Cuando se constriñe el inserto, el movimiento lateral desaparece dando lugar a una vibración longitudinal (57).

El Endoactivator está formado por una pieza de mano, en forma de contraángulo que funciona sin cables mediante una pila de litio, y tres puntas de polímero, las cuales pueden utilizarse con 3 niveles de potencia, 2000, 6000 o 10000 ciclos por minuto (58). Se ha visto que es a la mayor potencia a la que se consiguen mayores niveles de limpieza, optimizando el desbridamiento y promoviendo la disrupción del barrillo dentinario y los *biofilms* (59). Al igual que con la PUI, la activación de CHX con este sistema ha resultado en la obtención de un mayor efecto antimicrobiano y capacidad antimicrobiana residual (60).

B. EDDY™ (VDW, Múnich, Alemania)

Este sistema de activación sónica de reciente aparición consta de unas puntas de poliamida que se acoplan directamente a un *airscaler* y funcionan a una frecuencia de 6000 Hz. Según la información que proporciona el fabricante, con este sistema se consiguen características propias de PUI, como son la cavitación y transmisión acústica. Las primeras publicaciones que se pueden encontrar en la literatura sobre este sistema de activación del irrigante muestran una eficacia comparable a la de Endoactivator y PUI (61), incluso superior a este último (62).

1.3.2. Influencia de la activación sobre la temperatura de los irrigantes

Estudios recientes han demostrado una correlación entre la activación de los irrigantes con PUI y un incremento de la temperatura. Un estudio muestra incrementos de

hasta 7,7°C, depositando el irrigante con una jeringa y activándolo posteriormente. Los mayores incrementos de temperatura se mostraron con la utilización de puntas de mayor calibre, mostrando una relación directa del incremento de la temperatura con el calibre de la punta utilizada (63). En esta línea, otro estudio describió aumentos de la temperatura del irrigante de hasta 3,9°C y 9,9°C tras la aplicación de PUI durante 20 y 60 segundos, respectivamente (64). Los irrigantes utilizados para la realización de los citados estudios fueron: solución salina para el primero e NaOCl para el segundo. Además, en este último, estudiaron la influencia de la temperatura sobre la tasa de reacción del NaOCl, concluyendo que, por sí solo, el incremento térmico no era suficiente para aumentar la tasa de reacción del NaOCl, como se pensaba, si no que tendrían mayor importancia los fenómenos derivados de la activación ultrasónica.

Los incrementos de temperatura detectados tras la aplicación de PUI podrían suponer un inconveniente si el irrigante utilizado fuera CHX, ya que a pesar de mejorar sus capacidades como se ha descrito anteriormente, va-

rias publicaciones relacionan el aumento de temperatura en la CHX con la aparición de 4-cloroanilina, la misma sustancia que resulta del precipitado que se forma en la mezcla de NaOCl y CHX, y que se ha descrito como citotóxica y carcinogénica. Así, se ha visto que cuando se incubaba CHX al 0,2% a 36,5°C y 95% de humedad, aparece 4-cloroanilina a los 7 días y se degrada por completo a los 14 días (65). Este mismo procedimiento, realizado con CHX al 2%, muestra la aparición de 4-cloroanilina inmediatamente y a los 7 días, además de mostrar una relación creciente entre la cantidad de 4-cloroanilina y la concentración de CHX (66). Sin embargo, en otro estudio donde la CHX al 2% es calentada en lugar de incubada, se detecta que la 4-cloroanilina sólo aparece a 45°C y no lo hace a 37°C (39). En esta línea, sólo se ha encontrado un artículo en la literatura que estudie directamente la influencia de la aplicación de PUI sobre CHX al 2%, en el que se muestran incrementos térmicos entorno a 1°C y se detectan cambios espectrofotométricos en la CHX activada compatibles con la presencia de 4-cloroanilina, aunque no se confirma (67).

1.4. Justificación

Como se describe en el apartado anterior, la irrigación tiene un papel clave en la consecución de resultados exitosos en los tratamientos de conductos. Con este fin, han sido presentados tanto la aplicación de distintas soluciones irrigantes como la utilización de diversos métodos coadyuvantes que tienen como objetivo la consecución de una mejor limpieza del sistema de conductos y una mayor desinfección.

Las virtudes de los distintos sistemas de activación de los irrigantes, a excepción del sistema EDDY, que representa una opción más novedosa, han sido ampliamente estudiados en la literatura. No obstante, son pocos los estudios que abordan la relación entre la aplicación de los distintos métodos de activación y su influencia en la temperatura de los irrigantes. Además, los trabajos que se han encontrado se basan en la aplicación de ultrasonidos, sin haberse hallado ningún estudio publicado que relacione la aplicación de la activación sónica con el efecto sobre la temperatura de los irrigantes. Siguiendo esta línea, sólo

se ha encontrado una publicación donde se estudie la influencia sobre la temperatura de la aplicación de la PUI sobre la CHX, lo cual resulta insuficiente, teniendo en cuenta la existencia de trabajos donde se pone de manifiesto la aparición de sustancias potencialmente tóxicas al aumentarse la temperatura de la CHX.

La activación de la CHX mediante ultrasonidos puede resultar beneficiosa para mejorar sus propiedades, no obstante, puede ser controvertido dada la posible presencia de 4-cloroanilina con el aumento de temperatura. Así mismo, la aplicación de activación sónica también puede resultar útil y, a este respecto, no hay investigaciones, hasta donde llega nuestro conocimiento, que relacionen el aumento de la temperatura de la CHX con el uso de este método de activación de los irrigantes.

Ante la escasez de información disponible acerca de esta temática, resulta interesante ahondar en las consecuencias que conlleva la activación de la CHX, por ello, en este estudio, se pretende evaluar la influencia de los distintos métodos de activación de la irrigación, sónico y ultrasónico, sobre la temperatura de la CHX.

1.5. Objetivos e hipótesis.

1.5.1. Objetivos.

1.5.1.1. Generales.

Evaluar la influencia de los métodos de activación sónicos (Endoactivator; EDDY) y ultrasónico (PUI) sobre la temperatura de la clorhexidina al 2%.

1.5.1.2. Específicos.

- I. Evaluar la influencia sobre la temperatura de la clorhexidina de su activación con distintos calibres de puntas en los sistemas que así lo permiten, Endoactivator y PUI.
- II. Evaluar la influencia del uso de puntas de distinta aleación en la activación con PUI sobre la temperatura de la clorhexidina.

III. Evaluar la influencia sobre la temperatura de la clorhexidina de distintos niveles de intensidad en cada uno de los distintos sistemas de activación siguientes: Endoactivator, EDDY y PUI.

IV. Evaluar la influencia sobre la temperatura de la clorhexidina en función del tiempo de aplicación de PUI.

1.5.2.Hipótesis.

1.5.2.1. De trabajo.

Tanto los métodos de activación sónicos como el ultrasónico que van a ser estudiados producen un incremento de la temperatura de la clorhexidina al 2% tras ser activada.

1.5.2.2. Nula.

Ni la activación con los métodos sónicos ni con el ultrasónico repercuten en la temperatura de la clorhexidina al 2% tras ser activada.

Metodología

2. Metodología

El procedimiento se desarrolló en dos fases. La primera corresponde al diseño del estudio, creando un modelo de experimentación que sea fácilmente reproducible y comparable y que abarque la mayor cantidad de variables posibles. En la segunda fase, se llevó a cabo la experimentación propiamente dicha.

2.1. Grupos de estudio.

De manera previa al comienzo de la experimentación, se llevó a cabo la distribución por grupos de los distintos métodos de activación con sus variables, quedando dispuestos de la siguiente manera:

- Grupo control (C): no se realiza activación alguna
- Grupo de activación ultrasónica (US): activación con PUI, utilizando el motor de ultrasonidos VDW Ultra

(VDW, Munich, Alemania) (Figura 1), sujeto a las siguientes variables:

- Puntas:
 - Limas K* de NiTi en calibres 15 y 35 (Dentply Sirona, Tulsa, EEUU)
 - Limas K* de acero en calibres 10 y 25 ((Dentply Sirona, Tulsa, EEUU)
 - Limas IRRI Safe calibre 25 (VDW, Munich, Alemania)

*acopladas mediante un endo-chuck (DTE, Guilin, China)

- Intensidades: se seleccionaron siguiendo las indicaciones dispuestas en el motor de ultrasonidos:
 - 10%
 - 20%
 - 30%



Figura 1. Motor de ultrasonidos con punta acoplada mediante endo-chuck.

- Grupo de activación sónica con Endoactivator® (Denstply Sirona, Tulsa, EEUU) (Figura 2) (S): la activación se realizó siguiendo las distintas variables que permite el sistema:

- Puntas:

- Pequeña, 15.02

- Mediana, 25.04

- Grande, 30.04

- Intensidades:

- Baja, 2000 ciclos por minuto

- Media, 6000 ciclos por minuto

- Alta, 10000 ciclos por minuto



Figura 2. Endoactivador y puntas de polímero.

- Grupo de activación sónica con EDDY® (VDW, Munich, Alemania) (E): como se describe en la introducción, este sistema se acopla a un *airscaler*. El modelo utilizado fue el Sonicflex 2003L (KaVo, Biberach, Alemania). Dicho dispositivo permite la utilización de 3 niveles de intensidad, los cuales no varían la frecuencia, fijada en 6000 Hz, pero si la amplitud del movimiento de oscilación.

- Intensidades:

- 1, amplitud de 120 μm
- 2, amplitud de 160 μm
- 3, amplitud de 240 μm

2.2. Muestra.

En base a la literatura revisada y los resultados obtenidos en estudios preliminares, dónde las variaciones son mínimas, el tamaño de la muestra se fijó en 10 registros por variable a estudiar ($n_i=10$).

2.3. Procedimiento.

Para el desarrollo de esta parte, se dispuso 0,5 ml de CHX al 2% en tubos Eppendorf de 1 ml de capacidad, que posteriormente se introducen en un baño termostático calibrado a 37°C, mediante un termómetro tipo K de 2 vías - TES 1302 (TES Electrical Electronic Corp., Taipei, Taiwan)-, una para comprobar que la temperatura del baño termostático se mantenía estable, y la otra para registrar la temperatura de la CHX depositada en el tubo Eppendorf (Figura 3).

El protocolo para cada grupo de experimentación fue el siguiente:



Figura 3. Baño termostático y termómetro tipo K.

- **Grupo C:** el tubo con la CHX se dejaba en el baño termostático durante 3 minutos, sin ningún tipo de activación, registrando la temperatura cada 30 segundos entre 60 y 180 segundos.
- **Grupo US:** el tubo con CHX se colocaba en el baño termostático y era inmediatamente activada durante 3 minutos, siguiendo ciclos de 30 segundos de activación con pausas de 20 segundos. La activación se realizó utilizando cada una de las combinaciones resultantes de las variables dispuestas para este grupo. La tempe-

ratura se registró cada 30 segundos entre 60 y 180 segundos (Figura 4).

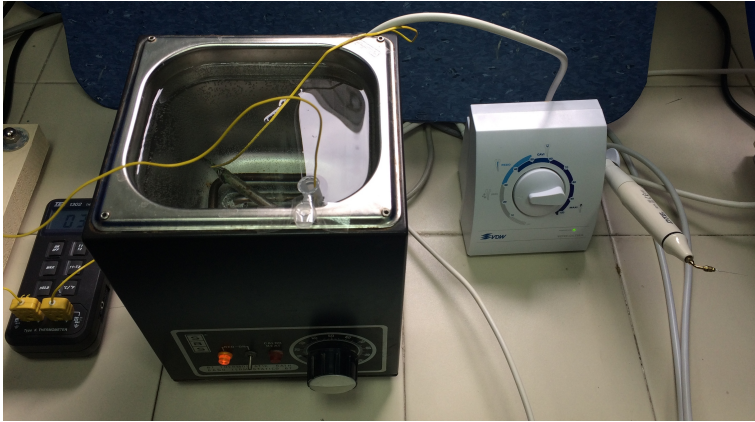


Figura 4. Disposición de los elementos para la activación ultrasónica.

- **Grupo S:** tras colocar el tubo con CHX en el baño termostático, se activó inmediatamente durante un minuto, de forma continuada. Se realizaron las activaciones con cada combinación de variables posibles. La temperatura se registró tras finalizar la activación.
- **Grupo E:** de igual forma que en el anterior grupo, tras colocar el tubo con CHX en el baño termostático, se activó inmediatamente durante un minuto, de manera continuada. En este caso, se realizaron las activa-

ciones con cada intensidad disponible, al tratarse de una única punta. Se tomó el registro de temperatura tras finalizar la activación.

2.4. Análisis estadístico.

Los valores de temperatura obtenidos de la experimentación fueron analizados estadísticamente mediante el software SPSS. El nivel de significación se fijó en $p < 0,05$. Se obtuvieron las medias de temperatura para todas las variables resultantes en cada uno de los distintos grupos y su desviación estándar. Se sometió a la comparación entre grupos utilizando ANOVA, con el ajuste de Bonferroni y el test de Tukey *post hoc*. El análisis según puntas e intensidad se llevó a cabo mediante el test de Kruskal-Wallis. La comparación entre variables concretas se realizó mediante pruebas NPar empleando el test U de Mann-Whitney.

Resultados

3. Resultados

3.1. Datos obtenidos.

Se obtuvieron un total de 920 registros de temperatura resultante de la combinación de las variables disponibles.

El mayor valor de temperatura fue de 40°C, obtenido mediante la activación ultrasónica con puntas IRRI S a la mayor intensidad utilizada tras 180 segundos de activación, así como con activación sónica mediante puntas EDDY® a su máxima intensidad durante 60 segundos.

El grupo control mostró que la temperatura del irrigante se estabilizaba a 37°C a los 90 segundos de encontrarse en el baño termostático.

Para facilitar el análisis de los resultados, dada la gran cantidad de datos y variables disponibles para comparar, se ha seguido un orden desde las comparaciones más

generales hasta las más concretas, con el fin de evitar la exclusión de diferencias puntuales de ciertas variables.

3.1.1. Comparaciones por grupo y tiempo de activación.

Las siguientes comparaciones toman como referencia las medias obtenidas de cada grupo según el tiempo de activación, mostradas en la Tabla 1.

Grupo	Tiempo (seg)	Temperatura (°C)	Desviación estándar
Control	60	35,9	0
	90	36,8	0
	120	37	0
	150	37	0
	180	37	0
Ultrasonidos	60	36,287	0,640
	90	36,980	0,538
	120	37,213	0,550
	150	37,3	0,635
	180	37,386	0,749
Endoactivator®	60	35,967	0,707
EDDY®	60	38,667	1,405

Tabla 1. Media y desviación estándar según grupo y tiempo de activación.

En la comparación entre grupos se observa que el grupo EDDY® mantiene diferencias estadísticamente significativas con todos los grupos restantes ($p=0$), mientras que no existen diferencias entre el grupo control y los grupos de ultrasonidos y Endoactivator®. No obstante, existen diferencias entre el grupo de activación ultrasónica y de Endoactivator® ($p=0$).

Teniendo en cuenta el tiempo de activación, se vio que, tras 60 segundos de activación, el único grupo que muestra diferencias estadísticamente significativas respecto al control es el grupo de activación sónica con puntas EDDY® ($p=0,002$). Así mismo, el grupo EDDY® mantiene diferencias estadísticamente significativas respecto al grupo ultrasónico y el grupo de Endoactivator®, con una $p=0$ en ambos casos. En el caso de estos últimos, no se aprecian diferencias entre ambos ($p=1$). Para el grupo de activación ultrasónica, tampoco se ven diferencias respecto al control con los mayores tiempos de activación ($p>0,05$).

3.1.2. Comparaciones entre variables concretas.

Para la comparación se toman como partida las medias de cada combinación de variables obtenida de cada grupo de estudio y se someten a comparaciones entre pares. Las medias y su desviación estándar se muestran en la Tabla 2.

Grupo	Punta	Intensidad	Tiempo (seg)	Temperatura (°C)
Control	-	-	60	35,9 ± 0,316
	-	-	180	37 ± 0
Ultrasonidos	IRRI S	10 %	60	35,9 ± 0,316
			180	37 ± 0
		20 %	60	36,3 ± 0,483
			180	37 ± 0
		30 %	60	38,2 ± 1,032

			180	$39,6 \pm 0,843$
K 15 NiTi	10 %		60	$35,9 \pm 0,316$
			180	37 ± 0
	20 %		60	$35,9 \pm 0,316$
			180	37 ± 0
	30 %		60	36 ± 0
			180	37 ± 0
K 35 NiTi	10 %		60	36 ± 0
			180	37 ± 0
	20 %		60	36 ± 0
			180	$37,1 \pm 0,316$
	30 %		60	36 ± 0
			180	38 ± 0
K 10 acero	10 %		60	$36,1 \pm 0,316$
			180	37 ± 0
	20 %		60	36 ± 0
			180	37 ± 0
	30 %		60	37 ± 0

	K 25 acero	10 %	180	$37,8 \pm 0,421$
			60	36 ± 0
		20 %	180	37 ± 0
			60	36 ± 0
		30 %	180	37 ± 0
			60	37 ± 0
Endoactivator®	Pequeña	Baja	60	$35,9 \pm 0,316$
		Media		$36 \pm 0,471$
		Alta		36 ± 0
	Mediana	Baja	60	$35,9 \pm 0,316$
		Media		$35,9 \pm 0,316$
		Alta		$35,9 \pm 0,316$
	Grande	Baja	60	$36,1 \pm 0,316$
		Media		36 ± 0
		Alta		36 ± 0

EDDY®	-	1	60	37,2 ± 0,421
	-	2		38,8 ± 0,421
	-	3		40 ± 0,471

Tabla 2. Medias y desviación estándar de los métodos estudiados.

3.1.2.1. Activación ultrasónica.

En la comparación inicial del grupo de activación ultrasónica se vio que tras 60 segundos de activación no existía diferencia en el uso de distintas puntas ($p=0,279$) ni en el de distintas intensidades ($p=0,105$). Tras 180 segundos de activación seguían sin observarse diferencias en el uso de distintas puntas ($p=0,762$), no obstante, existen diferencias con significación estadística con el uso de distintas intensidades ($p=0,016$).

- Comparación con grupo control a 60 segundos:

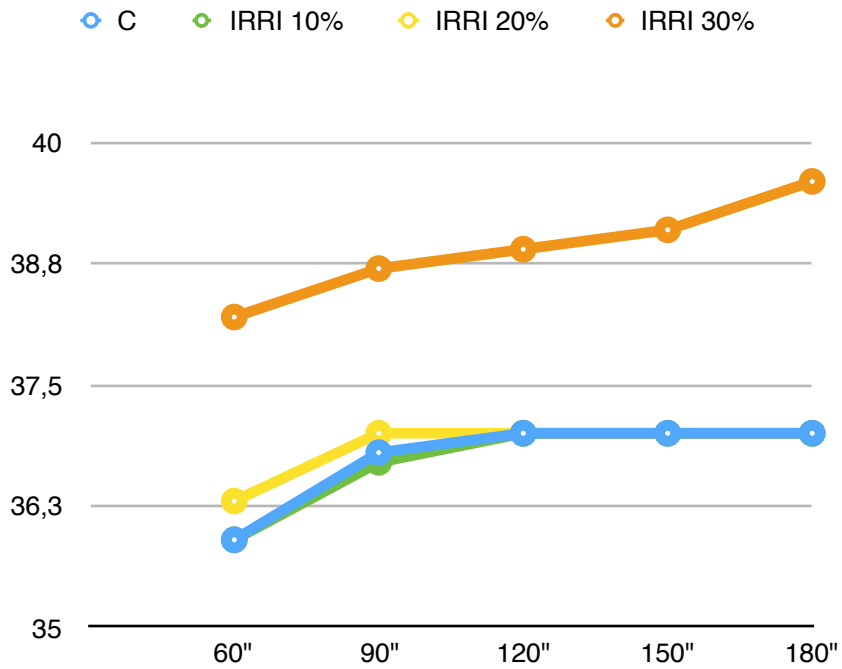
En este apartado, sólo se observan diferencias estadísticamente significativas con la utilización de las limas IRRIS aplicando la intensidad media y alta ($p=0,045$ y $p=0,$

respectivamente) y las limas K de acero, independientemente del calibre, utilizadas a la mayor intensidad ($p=0$ en ambos calibres). Las limas de NiTi no difieren del grupo control en ningún caso a este tiempo ($p>0,05$).

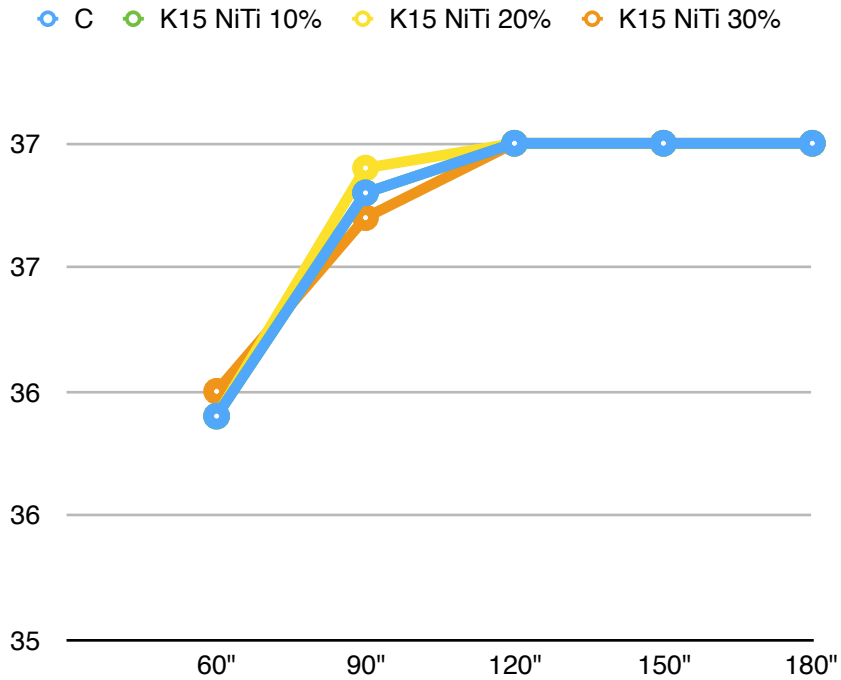
- Comparación con grupo control a 180 segundos:

En este caso, todas las puntas utilizadas tienen diferencias estadísticamente significativas respecto al grupo control cuando son utilizadas a la mayor intensidad disponible ($p<0,05$), a excepción de la lima NiTi de menor calibre.

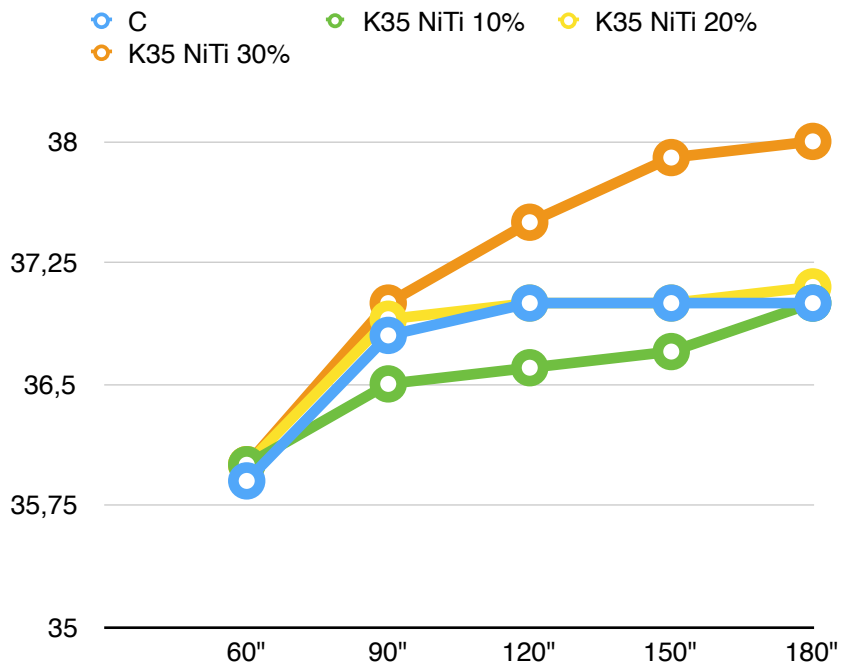
*En las gráficas 1 a 5 se muestra la evolución de la temperatura de la CHX durante el tiempo total de irrigación con cada uno de los insertos utilizados.



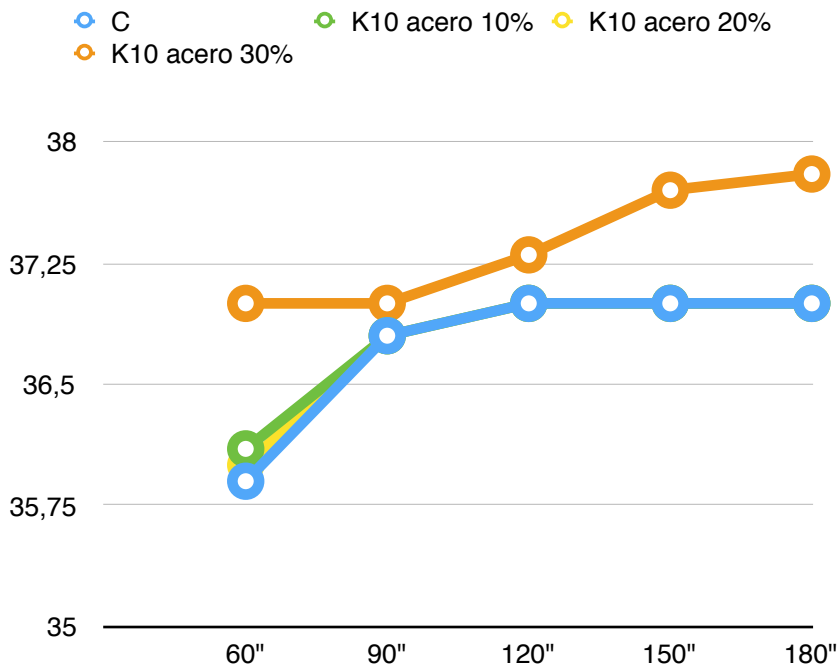
Gráfica 1. Evolución de la temperatura del irrigante según tiempo e intensidad de activación para PUI utilizando IRRI S.



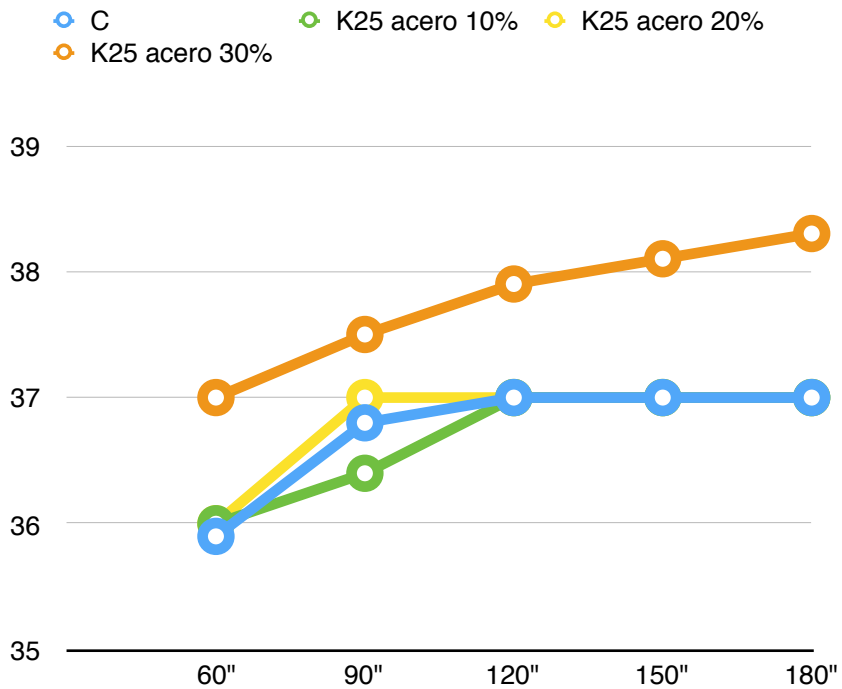
Gráfica 2. Evolución de la temperatura del irrigante según tiempo e intensidad de activación para PUI utilizando limas K15 de NiTi.



Gráfica 3. Evolución de la temperatura del irrigante según tiempo e intensidad de activación para PUI utilizando limas K35 NiTi.



Gráfica 4. Evolución de la temperatura del irrigante según tiempo e intensidad de activación para PUI utilizando limas K10 de acero.



Gráfica 5. Evolución de la temperatura del irrigante según tiempo e intensidad de activación para PUI utilizando limas K25 de acero.

- Comparación entre puntas:

Se realizó un análisis comparativo de las puntas utilizadas a la mayor intensidad disponible, ya que a excepción de IRRI S a intensidad media, es a este nivel de intensidad cuando se observa de forma generalizada diferencias respecto al control.

- 60 segundos de activación:

Tras este tiempo de activación, IRRI S mostró un mayor aumento de temperatura con significación estadística respecto a las limas de NiTi y de acero ($p=0$ y $p=0,003$, respectivamente). A su vez, las limas de acero mostraron un mayor incremento térmico en comparación a las de NiTi ($p=0$). Se vio también que no existen diferencias entre la utilización de un mayor o menor calibre de las limas tanto para las de acero como las de níquel-titanio ($p=1$ en ambos casos).

- 180 segundos de activación:

Tras un ciclo completo de activación, IRRIS siguió mostrando un mayor incremento de la temperatura del irrigante frente a las limas de NiTi y acero ($p < 0,05$).

En este caso, la lima de NiTi de calibre 10 mostró un menor incremento térmico en comparación a la de mayor calibre, así como con las limas de acero, independientemente del calibre de estas ($p = 0$). La lima NiTi de mayor calibre no mostró diferencias con la lima de acero de menor calibre ($p = 0,146$), ni con la de mayor calibre ($p = 0,067$). No obstante, entre las limas de acero, existe un mayor incremento térmico con el mayor calibre ($p = 0,028$).

3.1.2.2. Activación sónica.

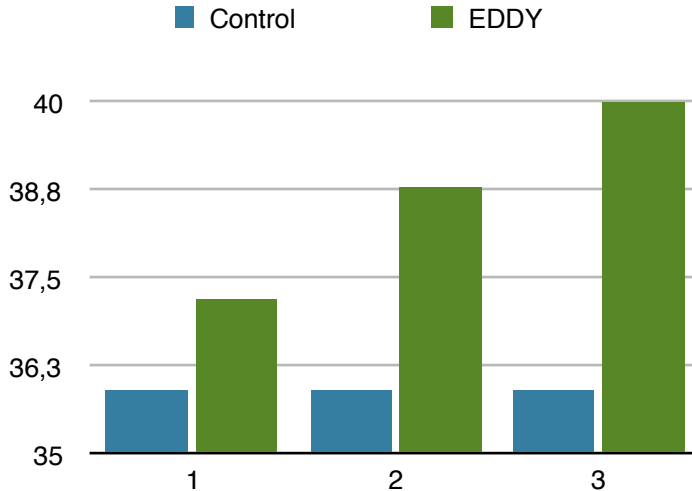
A. Endoactivator®

En este método de activación no se encuentran diferencias entre la utilización de los distintos tamaños de

puntas disponibles ($p=0,060$), así como con la aplicación de los distintos niveles de intensidad existentes ($p=0,961$).

B. EDDY®

Para este sistema la única variable modificable fue la intensidad, resultando el aumento de esta en incrementos térmicos significativamente mayores a medida que se aumentaba la intensidad, siendo $p=0$ entre cada uno de los 3 niveles disponibles. Se muestra en la gráfica 6.



Gráfica 6. Temperatura EDDY intensidades 1 a 3 vs. Control.

3.1.2.3. Comparación entre sistemas.

De esta comparativa se excluyó al grupo de activación mediante Endoactivator®, al no verse diferencias ni con el grupo control ni con la modificación de las distintas variables que permite el sistema.

Por lo tanto, la comparación se realizó contando con el grupo EDDY® con todas sus variables y con el grupo de activación ultrasónica, representado por la lima IRRIS utilizada a intensidad media y alta para 60 segundos de activación, y por la intensidad alta para el ciclo completo de activación al ser la combinación que sigue patrones más similares a EDDY®.

- Ultrasonidos, intensidad media, 60 segundos vs. EDDY®:

EDDY® resultó en mayores valores de temperatura, independientemente de el nivel de intensidad utilizado ($p=0,001$ para la menor intensidad de EDDY® y $p=0$ para las restantes).

- Ultrasonidos, intensidad alta, 60 segundos vs. EDDY®:

La utilización de EDDY® a su mayor intensidad obtuvo temperaturas mayores que la activación ultrasónica ($p=0,012$), no obstante no se hallaron diferencias entre los ultrasonidos y EDDY® a la intensidad media ($p=0,128$). Sin embargo los ultrasonidos presentaron mayor incremento térmico que EDDY a la menor de sus intensidades ($p=0$).

- Ultrasonidos, intensidad alta, 180 segundos vs. EDDY®:

La activación con EDDY® obtuvo temperaturas superiores que la activación ultrasónica a su mayor intensidad ($p=0$), sin embargo los ultrasonidos mostraron mayores incrementos que EDDY® a sus menores intensidades ($p=0$ en ambos casos).

3.2. Discusión.

Como ya se ha dicho, la patología del complejo dentinopulpar tiene su origen en la colonización del sistema de conductos por parte de microorganismos, que encuentran en éste un hábitat idóneo donde proliferar. Así mismo, también se observa que en los casos donde el tratamiento ha fracasado éstos pueden ser aislados y cultivables. El tratamiento se orientará, pues, hacia la correcta desinfección del sistema de conductos (1-5).

El tratamiento de conductos requiere una adecuada desinfección, basada en una correcta preparación biomecánica, incluyendo la instrumentación y la irrigación tridimensional del sistema de conductos (6). Lamentablemente, no disponemos por el momento de ningún sistema de instrumentación capaz de conseguir una correcta limpieza de la totalidad de las paredes del sistema de conductos (7-12). La instrumentación consigue una reducción significativa en la carga bacteriana, a pesar de que aquella genera una capa de barrillo dentinario, lo que requiere que para una correcta desinfección y limpieza se utilice irriga-

ción abundante durante el tratamiento, con soluciones adecuadas, protocolos de irrigación y medicación intra-conducto (6).

En base a esto, el éxito dependerá en gran medida de la irrigación, para la cual se cuenta como irrigante de elección el hipoclorito sódico, en base a sus buenas características. Sin embargo, al no ser suficiente *per se* para lograr una limpieza completa de detritus orgánicos e inorgánicos y *biofilms* del sistema de conductos, ha de recurrirse a la utilización de protocolos que empleen distintos irrigantes. Tras la instrumentación, sería preciso utilizar un agente quelante y otro antiséptico posteriormente (14). Como agente quelante una de las soluciones utilizadas es el EDTA, capaz de disolver la parte mineralizada del barri- llo dentinario, para completar al NaOCl que se encarga de la orgánica (43). Seguidamente se utilizaría clorhexidina por ser un agente antimicrobiano de amplio espectro y que se utiliza como irrigante endodóntico por su buena efectividad como se ha descrito (28,32).

La CHX presenta tan buenas propiedades antimicro- bianas como el NaOCl (33), contando además con una de

sus propiedades más deseables que es la presencia de sustantividad, pudiendo unirse a diversas superficies prolongando así su liberación y su efecto (35). Sin embargo, ésta no es capaz de disolver el tejido orgánico como el hipoclorito, dejando a éste como irrigante principal en endodoncia (14,36).

Cada uno de los métodos de activación de los irrigantes endodónticos que se ha descrito en la introducción repercute de forma positiva en los resultados obtenidos en lo que a desinfección de los conductos se refiere. Por lo tanto, la intención de este trabajo no es ahondar en los posibles efectos de unos u otros métodos, si no en evaluar como éstos pueden afectar a la temperatura de la solución irrigante utilizada. En el caso del hipoclorito de sodio, el aumento de la temperatura de éste se tiene en cuenta, de manera consensuada, como uno de los factores potenciadores de su efectividad (13-15). Sin embargo, esto podría no resultar del todo cierto. Como se muestra en un estudio, que comparaba la efectividad del NaOCl en función de la aplicación de ultrasonidos o la temperatura del irrigante, el incremento térmico no sería suficiente por

si sólo para obtener el aumento de la tasa de reacción del hipoclorito, por lo que los fenómenos relacionados con la aplicación de ultrasonidos tendrían mayor importancia. Lo que para el hipoclorito parece ser una ventaja, podría resultar en un inconveniente al utilizar CHX como irrigante, ya que el aumento de temperatura produce su degradación, originando 4-cloroanilina, que como se ha explicado es una sustancia potencialmente carcinogénica (39, 65-67).

El aumento de la temperatura de los irrigantes, debido a la aplicación de ultrasonidos durante la irrigación, es un hecho que ha sido bien contrastado (63,64), sin embargo, no ha sido posible encontrar referencias sobre la aparición de este fenómeno con la utilización de dispositivos sónicos. Así mismo, sólo se ha encontrado un artículo que utilice la clorhexidina para evaluar los cambios térmicos mediante la aplicación de ultrasonidos (67). Debido a las indeseables consecuencias que se derivan del aumento térmico en la clorhexidina se hace necesario evaluar los distintos métodos en busca del que menor repercusión tenga en este aspecto.

En este trabajo se utilizó un baño termostático calibrado a 37°C para llevar a cabo la activación del irrigante en condiciones similares a lo que pudiera ocurrir en la realidad clínica, ya que se ha comprobado que tanto la disposición de un irrigante precalentado como a temperatura ambiente, acaba equilibrándose en el interior de conducto en unos minutos (68), ocurriendo este equilibrio a los 2 minutos en el presente estudio.

Dentro de la activación sónica, los resultados mostraron que el Endoactivator® fue el único sistema de activación de los irrigantes que no produjo alteración alguna sobre la temperatura, siguiendo el mismo patrón que el grupo control. Sin embargo, el otro sistema, constituido por las puntas EDDY®, acopladas al *airscaler*, mostró incrementos térmicos en todas las intensidades utilizadas, llegando incluso a los 40°C con la mayor de sus intensidades, superando en más de 3°C al grupo control. Se vio una relación directa entre intensidad y temperatura obteniendo valores más altos a medida que ésta aumentaba. La explicación a esto probablemente se encuentre en la amplitud de oscilación que presenta la punta, ya que

como se explicaba anteriormente, la frecuencia del *airscaler* está fijada en 6000 Hz y sólo se altera la oscilación. Respecto a los grupos sónicos, no ha sido posible encontrar estudios previos con los que comparar los resultados obtenidos.

En el grupo de activación ultrasónica se vio que, de manera generalizada, todos los insertos utilizados obtuvieron valores de temperatura superiores a los del grupo control cuando se utilizaba la mayor intensidad disponible. La única excepción la representa la lima NiTi de menor calibre, que no obtuvo diferencias respecto al control, independientemente de la intensidad empleada para la activación.

En cuanto a los tiempos de activación, tras 60 segundos de activación, ni las limas K de acero ni las de NiTi reflejan diferencias respecto al control, aunque sí lo hace la IRRIS. Por lo tanto, tras 60 segundos de activación, no habría diferencia en utilizar uno u otro inserto. No obstante, tras un periodo de 180 segundos de activación, la IRRIS siguió siendo el inserto que mayor incremento produjo y, así mismo, se vio que existen mayores aumentos utilizan-

do insertos de mayor calibre tanto en las de acero como en las de NiTi. Esto concuerda con lo expuesto en un estudio en el cual se analizó la variable del tamaño de los insertos, en el que se pudo comprobar que a mayor calibre, mayor incremento térmico existía (63). No obstante, esta premisa no se cumple en caso de comparar las aleaciones, pudiendo observar que la lima NiTi de mayor calibre, aun siendo dos medidas ISO superior a la de acero de mayor calibre, presentó un incremento térmico menor, aunque no estadísticamente relevante. Y, aunque en efecto, la NiTi de mayor calibre sí que mostró mayores registros que la de acero cinco veces menor, tampoco lo hizo con significación estadística. Para explicar por qué ocurre esto, se puede recurrir a las características de la aleación de níquel titanio respecto a la acero, concretamente a su flexibilidad, ya que la última es más rígida. También hay que evidenciar que el experimento se realizó en una situación teórica en la que no hubo contacto de los instrumentos con las paredes, ya que se pretendió tener un modelo teórico fácilmente reproducible y comparable.

Sin embargo, la IRRI S comparte calibre y material con la lima K de acero de mayor calibre y presenta incrementos superiores. Esto puede ser debido a la utilización de un *endo-chuck* como dispositivo intermedio para colocar el inserto en la pieza de mano ultrasónica, que la IRRI S no necesita.

En el caso de la activación ultrasónica, se pudo encontrar un estudio con similitudes metodológicas a éste, en el que activando CHX hasta 120 segundos se consiguen aumentos medios entorno 1°C (67), lo cual es acorde con los valores aquí obtenidos tras el mismo tiempo de activación. No obstante, tanto los registros presentados en el artículo citado como los de este trabajo distan de los mostrados por otros trabajos, en los que se muestran incrementos medios superiores (63,64). En estos otros estudios el modelo experimental no se realiza en tubos si no en dientes extraídos, por lo tanto es lógico pensar que el confinamiento de los instrumentos en el interior del conducto de como resultado estas diferencias al alza. La elección del procedimiento experimental, en nuestro caso estuvo definida por el interés por aislar las variables estu-

diadas en un medio controlable y reproducible en el que poder obtener los datos sin otras interferencias para poder conseguir resultados que pudieran ser comparados. De tal manera que los irrigantes estudiados fueron analizados en las mismas condiciones con los distintos tipos de activación.

Se ha visto que, cuando la clorhexidina es incubada, tanto al 0,2% como al 2%, aparece 4-cloroanilina como producto de degradación (65,66), sin embargo, se ha visto que tanto a temperatura ambiente como cuando la CHX al 2% es calentada hasta 37°C no aparece esta sustancia, haciendo sólo acto de presencia cuando se alcanzan los 45°C (39). Según estos datos y con los resultados aquí obtenidos, podría decirse que existe margen suficiente para emplear cualquiera de los métodos de activación propuestos, aunque no se puede obviar que el confinamiento de los instrumentos en la luz de los conductos desemboque en mayores incrementos térmicos de los obtenidos en este modelo. Sin embargo, no hay que olvidar en el caso de la PUI, con la utilización de periodos más cortos de irrigación e intensidades más bajas, no se alteró

la temperatura. Por lo tanto, los factores tiempo e intensidad representan puntos clave a la hora de procurar un menor aumento térmico. En el caso de la activación sónica, el Endoactivator® parece ser más idóneo para activar CHX que las puntas EDDY®, ya que mostró incrementos térmicos comparables al uso de la PUI.

Aunque se ha visto que la utilización de la PUI tanto con hipoclorito de sodio como con clorhexidina mejora la limpieza del sistema de conductos (69), no hay que olvidar que la activación de los irrigantes con la PUI o Endoactivator® mejora la limpieza de los conductos, siendo semejantes entre ellos (70). Por lo tanto, y hasta que no acabe de esclarecerse cómo ocurre la degradación de la clorhexidina a causa de la temperatura generada por la activación, es necesario que se lleven a cabo nuevas investigaciones de los sistemas PUI y EDDY® para la activación de esta sustancia, especialmente en relación a la aparición de sustancias tóxicas.

Conclusiones

finales

4. Conclusiones finales

Después del desarrollo de la presente investigación y tras el análisis de los datos obtenidos en el marco de las condiciones que se han descrito, podemos establecer las siguientes conclusiones, dando así respuesta a los objetivos previamente planteados.

1. La utilización de insertos de mayor calibre para la irrigación ultrasónica pasiva resulta en mayores incrementos térmicos, no siendo así en el caso del Endoactivator®.
2. La utilización de puntas de acero resultó incrementar en mayor medida la temperatura de la clorhexidina al 2% que las de NiTi.

3. Tanto la irrigación ultrasónica pasiva como la utilización de las puntas EDDY® obtienen incrementos térmicos mayores con la utilización de intensidades de trabajo más altas. La utilización de distintas intensidades no repercute en el Endoactivator®.
4. En el caso de la irrigación ultrasónica pasiva, se obtienen mayores registros de temperatura a mayor tiempo de activación.

El único sistema de activación de los irrigantes que no produjo alteración alguna sobre la temperatura de la clorhexidina al 2% fue el Endoactivator®.

No existe conflicto de intereses en la realización del presente estudio.

Referencias bibliográficas

5. *Referencias*

bibliográficas

1. Nair PNR. Pathogenesis of Apical Periodontitis and the Causes of Endodontic Failures. *Crit Rev Oral Biol Med.* 2004; 15(6): 348-81
2. Figdor D, Sundqvist G. A big role for the very small-- understanding the endodontic microbial flora. *Aust Dent J.* 2007; 52: 38-51
3. Guo H, Gao C, Zhang C, Zheng S, Yue L. Morphology of bacterial flora in root canals associated with apical abscesses. *Chin Med J (Engl).* 2014;127(18): 3254-8

4. Sundqvist G. Taxonomy, ecology, and pathogenicity of the root canal flora. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1994; 78(4):522-30
5. Pinheiro ET, Gomes BP, Ferraz CC, Sousa EL, Teixeira FB, Souza-Filho FJ. Microorganism from canals of root-filled teeth with periodical lesions. *Int Endod J.* 2003; 36(1):1-11.
6. Hülsmann M, Peters OA, Dummer PMH. Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. *Endod Topics* 2005;10:30-76
7. Peters OA, Schönenberger K, Laib A. Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. *Int Endod J* 2001;34:221-230.
8. Schäfer E, Vlassis M. Comparative investigation of two rotary nickel-titanium instruments: ProTaper versus RaCe. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J.* 2004 Apr;37(4):239-48

9. Schäfer E1, Lohmann D. Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile--Part 2. Cleaning effectiveness and instrumentation results in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J.* 2002 Jun; 35(6):514-21
10. Schäfer E1, Schlingemann R. Efficiency of rotary nickel-titanium K3 instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J.* 2003 Mar;36(3):208-17
11. Rubio J, Zarzosa JI, Pallarés A. A Comparative Study of Shaping Ability of four Rotary Systems. *Acta Stomatol Croat.* 2015 Dec;49(4):285-93. doi: 10.15644/asc49/4/3
12. de Oliveira MA, Venâncio JF, Pereira AG, Raposo LH, Biffi JC. Critical instrumentation area: influence of root canal anatomy on the endodontic preparation. *Braz Dent J.* 2014;25(3):232-6.

13. Zehnder M. Root canal irrigants. *J Endod.* 2006 May;32(5):389-98.
14. Basrani B, Haapasalo M. Update on endodontic irrigating solutions. *Endod Topics.* 2012; 27(1): 74-102
15. Kandaswamy D, Venkateshbabu N. Root canal irrigants. *J Conserv Dent.* 2010; 13(4): 256-64
16. Dakin HD. On the use of certain antiseptic substances in treatment of wounds. *Br Med J* 1915;2:318-20
17. Siqueira J, Rocas I, Favieri A, Lima K. Chemomechanical reduction of the bacterial population in the root canal after instrumentation and irrigation with 1 %, 2.5 %, and 5.25 % sodium hypochlorite. *J Endod* 2000;26:331-4. 2
18. Bystrom A, Sundqvist G. Bacteriologic evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumentation in endodontic therapy. *Scand J Dent Res* 1981; 89: 321–328

19. Cvek M, Nord CE, Hollender L. Antimicrobial effect of root canal debridement in teeth with immature root. a clinical and microbiologic study. *Odontol Revy* 1976: 27: 1–10
20. Hand RE, Smith ML, Harrison JW. Analysis of the effect of dilution on the necrotic tissue dissolution property of sodium hypochlorite. *J Endod* 1978: 4: 60–64
21. Spångberg L, Engström B, Langeland K. Biologic effects of dental materials. 3. Toxicity and antimicrobial effect of endodontic antiseptics in vitro. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1973: 36: 856–864
22. Siqueira JF Jr, Rôças IN, Favieri A, Lima KC. Chemomechanical reduction of the bacterial population in the root canal after instrumentation and irrigation with 1%, 2.5%, and 5.25% sodium O hypochlorite. *J Endod* 2000: 26: 331–334 35.
23. Zou L, Shen Y, Li W, Haapasalo M. Penetration of sodium hypochlorite into dentin. *J Endod* 2010: 36: 793–796

24. Fardal O, Turnbull RS. A review of the literature on use of chlorhexidine in dentistry. *J Am Dent Assoc* 1986; 112: 863–869
25. Løe H. Does chlorhexidine have a place in the prophylaxis of dental diseases? *J Periodontal Res* 1973; 12: 93–99
26. Greenstein G, Berman C, Jaffin R. Chlorhexidine. An adjunct to periodontal therapy. *J Periodontol* 1986; 57: 370–375
27. Foulkes DM. Some toxicological observations on chlorhexidine. *J Periodontal Res Suppl* 1973;12:55–60
28. Denton G. Chlorhexidine. In: Block SS, ed. *Disinfection, Sterilization and Preservation*, 4th edn. Philadelphia: Lea and Febiger, 1991
29. Basrani B. Chlorhexidine gluconate. *Aust Endod J*. 2005; 31(2): 48-52

30. Løe H, Schiott CR. The effect of mouthrinses and topical application of chlorhexidine on the development of dental plaque and gingivitis in man. *J Periodontal Res* 1970; 5: 79–83
31. Basrani B, Manek S, Sodhi R, Fillery E, Manzur A. Interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate. *J Endod* 2007; 33: 966– 969
32. Leonardo MR, Tanomaru Filho M, Silva LAB, Nelson Filho P, Bonifacio KC, Ito IY. In Vivo Antimicrobial Activity of 2% Chlorhexidine Used as a Root Canal Irrigation Solution. *J Endod.* 1999; 25(3): 167-71
33. Kuruvilla JR, Premanand Kamath M. Antimicrobial activity of 2.5% sodium hypochlorite and 0.2% chlorhexidine gluconate separately and combined, as endodontic irrigants. *J Endod.* 1998; 24(7): 472-76
34. Siqueira Jr JF, Paiva SSM, Rôças IN. Reduction in the Cultivable Bacterial Populations in Infected Root Canals by a Chlorhexidine-based Antimicrobial Protocol. *J Endod.* 2007; 33(5): 541-47

35. Souza M, Cecchin D, Farina AP, Leite CE, Fernandes Cruz F, da Cunha Pereira C, Randi Ferraz CC. Evaluation of chlorhexidine substativity on human dentin: a chemical analysis. *J Endod.* 2012; 38(9): 1249-52
36. Okino LA, Siqueira EL, Santos M, Bombana AC, Figueiredo JAP. Dissolution of pulp tissue by aqueous solution of chlorhexidine digluconate and chlorhexidine digluconate gel. *Int Endod J.* 2004; 37: 38-41
37. Akisue E, Tomita VS, Gavini G, Figareido JAP. Effect of the combination of sodium hypochlorite and chlorhexidine on dentinal permeability and scanning electron microscopy precipitate observation. *J Endod.* 2010; 36(5): 847-50
38. Cintra LTA, Watanabe S, Oliveira Samuel R, da Silva Facundo AC, de Azevedo Queiroz IO, Dezan Jr E, Gomes Filho JE. The use of NaOCl in combination with CHX produces cytotoxic product. *Clin Oral Invest.* 2014; 18: 935-40

39. Basrani B, Manek S, Fillery E. Using Diazotization to Characterize the Effect of Heat or Sodium Hypochlorite on 2.0% Chlorhexidine. *J Endod.* 2009; 35(9): 1296-99
40. Hazardous Substances Data Bank (HSDB): a database of the National Library of Medicines TOXNET System. Available at: <http://toxnet.nlm.nih.gov>. Accessed November 2014.
41. Mortenson D, Sadilek M, Flake NM, Paranjpe A, Heling I, Johnson JD, Cohenca N. The effect of using an alternative irrigant between sodium hypochlorite and chlorhexidine to prevent the formation of para-chloroaniline within the root canal system. *Int Endod J.* 2012; 45: 878-82
42. Mohammadi Z, Abbott PV. Antimicrobial substantivity of root canal irrigants and medicaments: a review. *Aust Endod J.* 2009; 35: 131–139

43. Goldman M, Kronman JH, Goldman LB, Clausen H, Grady J. New method of irrigation during endodontic treatment. *J Endod.* 1976; 2: 257–260
44. Rosenfeld EF, James GA, Burch BS. Vital pulp tissue response to sodium hypochlorite. *J Endod.* 1978 4, 140–6
45. Chow TW (1983) Mechanical effectiveness of root canal irrigation. *Journal of Endodontics* 11, 475–9
46. Richman MJ (1957) The use of ultrasonics in root canal therapy and root resection. *Med Dent J.* 1957; 12:12–18
47. Stock CJR. Current status of the use of ultrasound in endodontics. *Int Dent J* 1991. 41, 175–82
48. Lumley PJ, Walmsley AD. Effect of precurving on the performing of endosonic K files. *J Endod.* 1992; 18, 232–6

49.Ahmad M, Pitt Ford TR, Crum LA. Ultrasonic debridement of root canals: acoustic streaming and its possible role. *J Endod.* 1987; 14, 490–9

50.Weller RN, Brady JM, Bernier WE. Efficacy of ultrasonic cleaning. *J Endod.* 1980; 6, 740–3

51.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: 415-26

52.Walmsley AD. Ultrasound and root canal treatment: the need for scientific evaluation. *Int Endod J.* 1987; 20, 105–11

53.Leighton TG. *The Acoustic Bubble.* 1994. Chapter 1 and 2. New York: Academic Press

54. Jiang LM, Verhaagen B, Versluis M, Langedijk J, Wesselink P, van der Sluis LWM. The Influence of the Ultrasonic Intensity on the Cleaning Efficacy of Passive Ultrasonic Irrigation. *J Endod.* 2007; 37(5): 688-92

55. Ferreira RB, Marchesan MA, Silva-Sousa YT, Sousa-Neto M. Effectiveness of root canal debris removal using passive ultrasound irrigation with chlorhexidine digluconate or sodium hypochlorite individually or in combination as irrigants. *J Contemp Dent Pract.* 2008; 9(5): 1-7
56. Weber CD, McClanahan SB, Miller GA, Diener-West M, Johnson JD. The effect of passive ultrasonic activation of 2% chlorhexidine or 5.25% sodium hypochlorite irrigant on residual antimicrobial activity in root canals. *J Endod.* 2003; 29(9): 562-64
57. Lumley PJ, Blunt L, Walmsey AD, Marquis PM. Analysis of the surface cut in sonic files. *Endod Dent Traumatol.* 1996;12, 240–5
58. Ruddle CJ. Endodontic disinfection: tsunami irrigation. *Endod Practice* 2008; 11: 7–15.
59. Caron G. Cleaning efficiency of the apical millimetres of curved canals using three different modalities of

irrigant activation: an SEM study. Masters thesis, Paris VII University, Paris, France; 2007.

60. Shen Y, Stojcic S, Qian W, Olsen I, Haapasalo M. The synergistic antimicrobial effect by mechanical agitation and two chlorhexidine preparations on biofilm bacteria. *J Endod.* 2010 Jan;36(1):100-4
61. Conde AJ, Estevez R, Loroño G, Valencia de Pablo Ó, 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.* doi:10.1111/iej.1271
62. 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): 1799-1803
63. Zeltner M, Peters OA, Paqué F. Temperature changes during ultrasonic irrigation with different inserts and modes of activation. *J Endod.* 2009; 35(4): 573-77

64. Macedo RG, Verhaagen B, Wesselink PR, Versluis M, van der Sluis LW. Influence of refreshment/activation cycles and temperature rise on the reaction rate of sodium hypochlorite with bovine dentine during ultrasonic activated irrigation. *Int Endod J.* 2014; 47(2): 147-54
65. Barbin LE, Saquy PC, Guedes DF, Sousa-Neto MD, Estrela C, Pécora JD. Determination of para-chloroaniline and reactive oxygen species in chlorhexidine and chlorhexidine associated with calcium hydroxide. *J Endod.* 2008; 34(12): 1508-14
66. Barbin LE, Estrela C, Guedes DF, Spanó JC, Sousa-Neto MD, Pécora JD. Detection of para-chloroaniline, reactive oxygen species, and 1-chloro-4-nitrobenzene in high concentrations of chlorhexidine and in a mixture of chlorhexidine and calcium hydroxide. *J Endod.* 2013; 39(5):664-8
67. Onetto D, et al. Efecto del ultrasonido endodóntico sobre clorhexidina al 2% en la formación de paracloroanilina. Estudio in vitro. *Rev Clin Periodoncia Im-*

plantol Rehabil Oral. 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.piro.2015.06.002>

68. de Hemptinnem F, Slaus G, Vandendael M, Jacquet W, De Moor RJ, Bottenberg P. In vivo intracanal temperature evolution during endodontic treatment after the injection of room temperature or preheated sodium hypochlorite. *J Endod.* 2015; 41(7):1112-15

69. Llana C, Cuesta C, Forner L, Mozo S, Segura JJ. The effect of passive ultrasonic activation of 2% chlorhexidine or 3% sodium hypochlorite in canal wall cleaning. *J Clin Exp Dent.* 2015;7(1):69-73

70. Akman M, Akbulut MB, Aydınbelge HA, Belli S.- Comparison of different irrigation activation regimens and conventional irrigation techniques for the removal of modified triple antibiotic paste from root canals. *J Endod.* 2015 May;41(5):720-4. doi: 10.1016

