

Tesis doctoral

*Nuevos métodos de
desinfección y
limpieza del sistema
de conductos
radiculares*

Pablo Castelo Baz

Santiago de Compostela, 2012



FACULTAD DE MEDICINA Y ODONTOLOGÍA.
Departamento de Estomatología



Facultad de Medicina y Odontología
Departamento de Estomatología

Don Benjamín Martín Biedma y Doña Purificación Varela Patiño, Profesores titulares y Doctores del Departamento de Estomatología de la Universidad de Santiago de Compostela.

HACEN CONSTAR:

Que el licenciado en Odontología, Don Pablo Castelo Baz, ha realizado bajo la dirección en el Departamento de Estomatología el trabajo de investigación titulado **"Nuevos métodos de desinfección y limpieza del sistema de conductos radiculares"**, y que el mencionado trabajo reúne todos los requisitos exigidos por la normativa vigente para optar al grado de Doctor en Odontología.

Y para que así conste firman en Santiago de Compostela a

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and a long horizontal stroke at the bottom.

Fdo. Benjamín Martín Biedma

A handwritten signature in blue ink, featuring a large, stylized initial 'P' followed by several loops and a long horizontal stroke at the bottom.

Fdo. Purificación Varela Patiño

El doctorando
Pablo Castelo Baz

A mi familia

ME LO CONTARON Y LO OLVIDÉ. LO VI Y LO
ENTENDÍ. LO HICE Y LO APRENDÍ.

Confucio

Mi más sincero agradecimiento a los Profesores Benjamín Martín Biedma y Purificación Varela Patiño, directores de esta tesis. Gracias por confiar en mí, por vuestro afecto, entrega y constante ayuda.

También quiero mencionar especialmente a los Dres. Bahillo y Piñón, por animarme siempre y por todo el apoyo que me habéis brindado.

Quiero expresar mi gratitud también a todos los integrantes de la Unidad de Patología y Terapéutica Dental II de la Universidad de Santiago de Compostela, gracias por vuestro cariño y amistad. Sin vuestra ayuda este trabajo no se hubiese podido llevar a cabo.

Índice:

1.- Justificación	15
2.- Introducción	19
2.1.- Asepsia y antisepsia	20
2.2.- Infección del sistema de conductos radiculares	21
2.3.- Instrumentación del conducto radicular	23
2.4.- ¿Por qué es necesario irrigar?	24
2.5.- Acciones deseadas de los irrigantes y objetivos de la irrigación del sistema de conductos	25
2.6.- Elección del irrigante principal	26
2.6.1.- Clorhexidina	29
2.6.2.- Hipoclorito de sodio	30
2.6.3.- Quelantes	36
2.7.- Régimen sugerido de irrigación	38
2.8.- Sistemas de entrega y agitación de irrigantes	41
2.8.1.- Sistemas de agitación manuales	41
2.8.1a.- Jeringas con aguja/cánula, irrigación pasiva, irrigación por pasasositiva	41
2.8.1b.- Cepillos	44
2.8.1c.- Irrigación dinámica manual	46

2.8.2.- Sistemas de agitación ayudado por máquinas	46
2.8.2a.- Cepillos rotatorios	46
2.8.2b.- Irrigación continua durante la preparación rotatoria	48
2.8.2c.- Irrigación sónica	49
2.8.2d.- Ultrasonidos	52
2.8.2e.- Dispositivos de alternación de la presión	57
2.8.2f.- El sistema EndoVac	58
2.8.2g.- El sistema RinseEndo	60
2.8.2h.- El sistema ProUltra PiezoFlow	61
2.9.- Efecto del "vapor lock"	63
2.10.- Láser en endodoncia	64
2.10.1.- Introducción láser	64
2.10.2.- Láser de diodo	67
2.10.2a.- Aplicaciones clínicas del láser de diodo	67
2.10.2.- Láser en endodoncia	69
2.11.- Otros mecanismos de desinfección y limpieza	70
3.- Hipótesis de trabajo y objetivos	72
3.1.- Hipótesis de trabajo	73
3.2.- Objetivos	77
4.- Material y métodos	79
5.- Resultados	91
6.- Discusión	102
7.- Conclusiones	109
8.- Anexos	112
9.- Bibliografía	118



!

Justificación

1.- Justificación:

A pesar del interés que han despertado las nuevas tecnologías para la limpieza y desinfección del sistema de conductos radiculares en Odontología, en la actualidad, la mayoría de los clínicos siguen empleando los sistemas de entrega y agitación del irrigante y los propios irrigantes tradicionales que se emplean desde hace décadas.

La desinfección del sistema de conductos, empleando antimicrobianos y disolventes de tejido pulpar, es considerada una parte esencial en la preparación químico-mecánica del mismo (Haapasalo 2005). Remanentes de tejido pulpar, bacterias, detritus dentinarios, toxinas, etc. permanecen en áreas no instrumentadas del conducto una vez se ha llevado a cabo esta fase de instrumentación (Wu 2001, Peters 2004). La jeringa convencional es todavía ampliamente aceptada (Peters 2004), aunque su baja acción no es suficiente para eliminar los detritus presentes en las irregularidades del sistema de conductos (Wu 2001, Cunningham 1982). La acción de los ultrasonidos para la activación del irrigante ha sido ampliamente documentada (Stock 1991, van der Sluis 2007) y tiene el potencial para eliminar gran parte de los restos de tejido orgánico e inorgánico de las áreas inaccesibles para la instrumentación (Gutarts 2005, Passarinho-Neto 2006).

Han sido muchos los mecanismos de entrega y agitación diseñados a lo largo de los años para tratar de llegar a esas zonas del sistema de conductos, donde los instrumentos manuales y rotatorios no pueden acceder. En las dos últimas décadas estos mecanismos han sido mejorados notablemente gracias a la investigación y al gran avance tecnológico. De esta forma, estos sistemas así como los nuevos mecanismos de desinfección, como puede ser el láser, han pasado a ser procedimientos clínicos científicamente probados. Los profesionales reconocen la fiabilidad y facilidad de manejo de estos nuevos sistemas, e incluso los pacientes demandan ser tratados con estos instrumentos.

La aplicación del Láser de diodo para el tratamiento de conductos radiculares es una práctica cada vez más habitual entre los profesionales de la odontología moderna. Es ya un hecho demostrado, en la literatura científica, que el uso del Láser de diodo puede reducir la carga bacteriana en conductos radiculares, así como la resolución de procesos patológicos apicales (Schirrmeyer 2009, De Souza 2008). El láser de diodo es una incorporación relativamente reciente a la terapéutica odontológica. La ausencia relativa de dolor, su facilidad de empleo, su versatilidad y su especificidad local lo convierten en una incorporación ideal a las técnicas terapéuticas del odontólogo.

Con este trabajo, intentaremos observar las ventajas de dos de los métodos más prometedores en este ámbito: la irrigación ultrasónica continua para la limpieza del sistema de conductos y el Láser de diodo de 940 nm de longitud de onda para la desinfección del mismo.



Introducción

2.- Introducción:

2.1.- Asepsia y antisepsia:

Hoy en día, no existe ninguna duda que los microorganismos, debido a su presencia en el espacio del conducto radicular después del tratamiento, o bien, debido a la recolonización del sistema de conductos radiculares después de la obturación del mismo, son la causa principal del fracaso endodóncico (Sjögren 1987, Molander 1998).

La infección del espacio del conducto radicular ocurre más frecuentemente como consecuencia de una lesión cariosa profunda (Langeland 1985). Otra causa frecuente son cracks en la estructura de la corona que se extienden a la cámara pulpar, pudiendo también ser la causa de una infección endodóncica, así como traumatismos, etc. Independientemente de la penetración microbiana, se debe diferenciar entre los casos vitales y no vitales (Zehnder 2002). La pulpitis es la reacción del huésped frente a patógenos oportunistas de la cavidad oral que entran en el espacio endodóncico (Hahn 2000). El tejido pulpar vital puede defenderse de los microorganismos y permanecer un período de tiempo largo no infectado hasta que finalmente, el tejido pulpar termina por necrosarse gradualmente (Langeland 1987). Por el contrario, el espacio pulpar de los dientes no vitales con signos radiográficos de rarefacción periapical siempre albergan microorganismos cultivables. En consecuencia, el tratamiento de los casos vitales debe centrarse en la asepsia, es decir, prevenir que la infección penetre en un ambiente

principalmente estéril, como es la parte apical del conducto radicular. La antisepsia, que es el intento de eliminar todos los microorganismos, es el asunto clave en los casos no vitales. Debemos tener en cuenta que cuando evaluamos la vitalidad pulpar no siempre puede ser predecible con las pruebas de sensibilidad (Seltzer 1963). Una vez que penetramos el espacio pulpar, durante la preparación de la cavidad de acceso el clínico puede discernir claramente entre el tejido pulpar vital y no vital (Petersson 1999), y de esta manera se podrán tomar las decisiones oportunas del tratamiento.

Los principios de asepsia, tales como la correcta colocación del dique de goma y la desinfección coronal del diente a ser tratado han sido ampliamente aceptadas ya desde el año 1936 (Walker 1936). Es interesante conocer que la mayoría de los clínicos ignoran principios básicos como la utilización del dique de goma para el tratamiento de conductos radiculares (Jenkins 2001). La antisepsia en dientes necróticos y en dientes donde el tratamiento endodóncico ha fracasado, es más difícil que en dientes vitales desde una perspectiva técnica como desde un punto de vista microbiológico.

2.2.- Infección del sistema de conductos radiculares:

A medida que las defensas del huésped pierden espacio y el diente comienza a perder su vitalidad, microorganismos oportunistas, que son capaces de sobrevivir duras condiciones ambientales y a una baja cantidad de oxígeno, se agregan al sistema de conductos radiculares (Nair 2004). Estos microorganismos pueden sobrevivir en restos orgánicos de tejido pulpar y también en el exudado del periodonto (Sundqvist 1994; Love 2001). En consecuencia, grupos de microorganismos de este tipo son típicamente

encontrados en el área apical del conducto radicular en dientes necróticos o con fallo endodóncico (Nair 2004).

Las infecciones primarias del conducto radicular son polimicrobianas, dominadas por las bacterias anaerobias (Sundqvist 1994). Los microorganismos aislados con mayor frecuencia antes del tratamiento de conductos son los bacilos anaerobios gram-negativos, cocos anaerobios gram-positivos, bacilos anaerobios y facultativos gram-positivos, lactobacilos y estreptococos gram-positivos facultativos (Sundqvist 1994). Los anaerobios estrictos son fáciles de eliminar en el tratamiento de conductos convencional. Por otro lado, las bacterias facultativas como estreptococos, enterococos y lactobacilos, una vez establecidos, tiene más probabilidades de sobrevivir a la instrumentación y a la medicación químico-mecánica de la raíz (Chavez 2003). En particular, los enterococos faecalis, han llamado la atención de la literatura endodóncica, ya que con frecuencia se pueden aislar en los conductos radiculares donde el tratamiento endodóncico ha fracasado (Haapasalo 1983). Además, también se pueden encontrar en los conductos radiculares asociados a periodontitis apical resistente a la terapia endodóncica (Waltimo 1997).

Es probable que todos los microorganismos capaces de colonizar un sistema de conductos radiculares necrótico causen lesiones inflamatorias periapicales. Los enterococos pueden sobrevivir en monocultivos, pero sólo causan lesiones menos graves (Fabricius 1982). Ciertas bacterias gram-negativas parecen ser más virulentas (Sundqvist 1994). La membrana externa de las bacterias gram-negativas contiene endotoxinas, que están presentes en todos los dientes necróticos con lesión periapical (Dahlén 1980) y son capaces de desencadenar una respuesta inflamatoria, incluso en ausencia de bacterias viables (Dwyer 1980). Además, los niveles de endotoxinas en los conductos radiculares necróticos se correlacionan positivamente con los síntomas clínicos tales como dolor

espontáneo y dolor a la percusión (Jacinto 2005). Los bacilos gram-negativos anaerobios virulentos, dependen de la presencia de otras bacterias de su entorno para sobrevivir y establecer su potencial patogénico completo (Fabricius 1982). Estas formaciones de microorganismos en una matriz de polisacáridos extracelulares asociadas a una superficie (en el caso del interior de la pared del conducto radicular) son llamadas biofilms (Costerton 1994). Hay pruebas convincentes de que los microorganismos organizados de esta manera son mucho menos susceptibles a los agentes antimicrobianos, que tradicionalmente se han utilizado para probar la eficacia antimicrobiana de sustancias *in vitro* (Nickel 1985; Wilson 1996). Si un caldo de bacterias inoculadas se enfrenta a un fluido antimicrobiano, la eficacia de este agente puede parecer muy convincente, al igual que con las pruebas de difusión en agar-agar. Sin embargo, los biofilms del sistema de conductos radiculares y en los túbulos dentinarios infectados hacen la desinfección mucho más difícil (Haapasalo 1987).

En conclusión, el concepto de biofilm y las condiciones específicas del conducto radicular deben ser consideradas a la hora de valorar las diferentes soluciones de irrigación.

2.3.- Instrumentación del conducto radicular:

El objetivo principal de la instrumentación es la limpieza mecánica del sistema de conductos radiculares y la creación de un espacio para la entrega de las sustancias antimicrobianas. Se han hecho intentos para llevar a cabo un tratamiento de endodoncia sin instrumentación mecánica por medio de un dispositivo de vacío y de perfusión de hipoclorito en el sistema de conductos radiculares (Lussi 1993). Con este método

podríamos llegar a obtener una buena limpieza del conducto radicular, sin embargo, no es válido cuando se utiliza clínicamente (Attin 2002), por lo que futuras investigaciones deberían ir encaminadas a mejorar este interesante enfoque.

La instrumentación mecánica, por otro lado, no está exenta de problemas. Complicaciones como perforaciones y fracturas de instrumentos, o la propia imposibilidad de llegar mecánicamente a la región apical del conducto radicular, conductos laterales o deltas apicales, tienen un impacto negativo significativo en los resultados del tratamiento (Kerekes 1979). En segundo lugar, se produce una capa de barrillo dentinario en las paredes del conducto instrumentado (McComb 1976), que se compone de materiales orgánicos e inorgánicos tales como restos dentinarios y de tejido pulpar (Gwinnett 1984). Este barrillo dentinario puede ser penetrado por bacterias (Akpata 1982) y puede ofrecer protección a los biofilms adheridos a las paredes del conducto radicular (Sen 1999). Además, la capa de barrillo, interfiere con la correcta adaptación de los cementos selladores actuales a las paredes del conducto (Kokkas 2004) y por lo tanto, pueden promover la microfiltración (Clark-Holke 2003). Con los sistemas empleados actualmente en endodoncia, tanto los instrumentos de níquel-titanio o los de acero, casi la mitad de las paredes de los conductos radiculares, se quedan sin preparar (Peters 2004).

2.4.- ¿Por qué es necesario irrigar?

La eliminación de restos vitales y necróticos remanentes del tejido pulpar, microorganismos y toxinas microbianas del sistema de conductos radiculares son esenciales para conseguir éxito en endodoncia (Siqueira 2008, Wong 2004, Basmandjina-Charles 2002). Es muy complicado dar forma y limpiar el conducto completamente, debido

a la gran complejidad del sistema de conductos radiculares (Skidmore 1971, Vertucci 1984).

Incluso con el empleo de la instrumentación rotatoria (Peters 2004), los instrumentos de níquel-titanio disponibles sólo actúan sobre el cuerpo central del conducto, abandonando itsmos, deltas, conductos laterales, etc. (Walton 1976, Wu 2001). Estas áreas podrían albergar restos de tejido, microorganismos y sus bioproductos (Skidmore 1971), que podrían impedir la correcta adaptación del material de obturación (Wollard 1976, Ardila 2003, Wu 2002) y causar posteriormente una inflamación perirradicular (Naidorf 1974, Wu 2001). De esta forma, la irrigación es una parte esencial y fundamental en la preparación del conducto radicular, ya que permite llegar a donde la instrumentación no lo consigue (Svec 1977, Gulabivala 2005).

2.5.- Acciones deseadas de los irrigantes y objetivos de la irrigación del sistema de conductos:

Históricamente, incontables compuestos en solución acuosa han sido sugeridos como irrigantes del conducto radicular, incluyendo sustancias inertes tales como cloruro de sodio (solución salina) o biocidas altamente tóxicas y alérgicas como el formaldehído. En esta revisión, nos centraremos en los irrigantes empleados hoy en día en la clínica odontológica.

Idealmente los irrigantes endodóncicos deberían cumplir los siguientes requisitos:

- Amplio espectro antimicrobiano y alta eficacia contra los microorganismos anaerobios y facultativos organizados en biofilms.
- Eliminación de restos de tejido pulpar necrótico.
- Inactivación de endotoxinas.
- Prevención de formación del barrillo dentinario durante la instrumentación o disolución una vez formado.
- No tóxico.
- No cáustico para los tejidos periodontales.
- Bajo potencial para causar una reacción anafiláctica.

Objetivos de la irrigación:

- Remoción de tejido dentario y pulpa.
- Disolución de tejido pulpar vital y necrótico, así como de restos inorgánicos.
- Desinfección
- Lubricante

2.6.- Elección del irrigante principal:

Aunque el yodo es menos citotóxico e irritante para los tejidos vitales que el hipoclorito de sodio y la clorhexidina (Spångberg 1973, 1979), tienen un riesgo mucho mayor de causar una reacción alérgica (Popescu 1984). Lo mismo ocurre para los compuestos de amonio cuaternario (Baldo 1983, Berstein 1994). Las reacciones alérgicas

al hipoclorito y a la clorhexidina son raras (Hostynekk 1989, Krautheim 2004). A pesar de su uso en todo el mundo, han sido muy pocos los casos documentados de reacciones alérgicas al hipoclorito de sodio a partir de una irrigación del conducto radicular (Caliskan 1994).

De todas las sustancias que se emplean en la actualidad, el hipoclorito de sodio parece ser el más idóneo, ya que cumple un mayor número de requisitos para la irrigación que cualquier otro compuesto conocido. El hipoclorito de sodio tiene la capacidad de disolver el tejido vital y necrótico (Grossman 1941, Naenni 2004), así como los componentes orgánicos de la capa de barrillo dentario (Koskinen 1980, Baumgartner 1987, Gutierrez 1990, Haikel 1994). Este es capaz de eliminar las bacterias patógenas endodóncicas organizadas en biofilms y en los túbulos dentinarios (Spratt 2001, Ørstavik 1990, Vahdaty 1993). Además también ha sido demostrado que el hipoclorito de sodio es capaz de inactivar la endotoxina (Sarbinoff 1983, Silva 2004), sin embargo el efecto es menor en comparación con la del hidróxido de calcio (Tanomaru 2003). En conclusión, la evidencia científica disponible es muy favorable al hipoclorito de sodio como irrigante endodóncico principal. Sin embargo, este debe emplearse con otras sustancias irrigadoras en ciertas condiciones con el objetivo de alcanzar una máxima calidad de tratamiento.

Todos los irrigantes empleados a lo largo de la historia:

Compuestos halogenados

- Solución de hipoclorito de sodio al 0.5%
- Solución de hipoclorito de sodio al 1% (solución de Milton)
- Solución de hipoclorito de sodio al 2.5% (solución de Labarraque)

- Solución de hipoclorito de sodio al 4-6%

Detergentes sintéticos

- Tergentol
- Duponol c al 2%
- Zefirol
- Dehyquart-A

Quelantes

- EDTA (ácido etilendiaminotetraacético)
- REDTA (preparado quelante comercial)
- Salvizol
- Ácido cítrico

Asociaciones

- EDTAC (EDTA y ceftrimida)
- RC-Prep
- Endo PTC
- Endoquel
- Endo prepsen
- Irrigocal
- Tergideox

Otras soluciones

- Agua destilada estéril
- Agua de hidróxido de calcio
- Peróxido de hidrógeno
- Suero fisiológico
- Clorhexidina
- Alcohol
- Xilol
- Cloroformo.
- MTAD (tetraciclina y ácido cítrico)

2.6.1.- Clorhexidina

La clorhexidina se desarrolló en la década de los años cuarenta en los laboratorios de investigación de Imperial Chemical Industries Ltd. (Macclesfield, Inglaterra). Inicialmente, una serie de polibisguanidas fueron sintetizadas para obtener sustancias antivirales. Sin embargo, estas tenían poca eficacia antiviral y fueron dejadas de lado hasta que fueron re-descubiertas unos años más tarde como agentes antibacterianos. La clorhexidina es la bisguanida más potente de todas las testadas (Davies 1954). Tratándose de una base fuerte, es más estable en forma de sal, siendo las sales originales el acetato de clorhexidina y el clorhidrato, los cuales son relativamente poco solubles en agua (Foulkes 1973). Debido a este motivo, estos compuestos han sido sustituidos por el digluconato de clorhexidina, el cual, sí es soluble en agua.

La clorhexidina es un potente antiséptico, que es utilizada para el control químico de la placa de la cavidad oral (Addy 2000). Las soluciones acuosas del 0.1 al 0.2% son recomendadas para tal fin, mientras que el 2% es la concentración de las soluciones de irrigación para el conducto radicular (Zamany 2003). Se sostiene, que la clorhexidina es menos cáustica que el hipoclorito de sodio (Jeansonne 1994), aunque una solución de clorhexidina al 2% es irritante para la piel (Foulkes 1973).

Al igual que con el hipoclorito de sodio, el calentamiento de una solución de clorhexidina de menor concentración podría aumentar su eficacia local en el sistema de conductos radiculares, manteniendo la baja toxicidad sistémica (Evanov 2004).

A pesar de su utilidad como irrigante final (debido a la sustantividad que presenta), la clorhexidina no puede ser empleada como irrigante principal en endodoncia debido a que es incapaz de disolver restos de tejido vital y necrótico (Naenni 2004) y es menos eficaz que el hipoclorito de sodio contra bacterias Gram-negativas (Davies 1954, Emilson 1977, Hamp 1973).

2.6.2.- Hipoclorito de sodio:

Cloro natural:

El cloro natural es uno de los elementos de mayor distribución en la tierra. Este no se encuentra en un estado libre en la naturaleza, sino que existe en combinación con el sodio, el potasio, el calcio y el magnesio. En el cuerpo humano, los compuestos de cloro son parte de la defensa inmunitaria no específica que se generan por los neutrófilos (Test 1984).

Historia de los liberadores de cloro:

El hipoclorito de potasio, fue el primer producto químico acuoso de cloro en solución, desarrollado en Francia por Berthollet (1748-1822). A partir de finales del siglo XVIII, esta solución fue industrialmente producida en Javel, cerca de París, de ahí el nombre de "Eau de Javel". En primer lugar, las soluciones de hipoclorito fueron utilizadas como agentes blanqueadores. Posteriormente, el hipoclorito de sodio fue recomendado por Labarraque (1777-1850) para prevenir la fiebres puerperales y otras enfermedades infecciosas.

En base a los estudios de laboratorio controlados por Koch y Pasteur, el hipoclorito, ganó una amplia aceptación como desinfectante al final del siglo XIX. En la Primera Guerra Mundial, el químico Henry Drysdale Dakin y el cirujano Alexis Carrel extendieron el uso de una solución tampón de 0.5% de hipoclorito de sodio para la irrigación de las heridas infectadas, basándose en un minucioso estudio de Dakin sobre la eficacia de diferentes soluciones en el tejido necrótico infectado (Dakin 1915). Además de su amplio espectro eliminando de forma no específica un gran número de microorganismos, las preparaciones de hipoclorito son además esporicidas y virucidas (McDonnell 1999). Estas características favorecen el uso de hipoclorito de sodio acuoso en endodoncia como irrigante principal, este ya viene empleándose desde 1920 (Crane 1920). Además, las soluciones de hipoclorito de sodio son baratas, fáciles de conseguir y demuestran una buena vida útil (Frais 2001).

Otros compuestos que liberan cloro se han propuesto para endodoncia como la cloramina-T y el dicloroisocianurato sódico (Heling 2001). Estos, sin embargo, nunca han

ganado una amplia aceptación en la endodoncia y parecen ser menos eficaces que el hipoclorito a una concentración similar (Naenni 2004).

Concentración del hipoclorito de sodio para el uso endodóncico:

Existe mucha controversia sobre la concentración del hipoclorito de sodio para su uso en endodoncia. La solución original de Dakin al 0.5% fue diseñada para tratar las heridas de quemaduras abiertas. Se supuso que en el área de confianza de un sistema de conductos radiculares, deben ser empleadas concentraciones mayores ya que serían más eficientes que la solución de Dakin (Grossman 1943). La eficacia antibacteriana y capacidad de disolución de tejido es en función de su concentración, pero también lo va a ser su toxicidad (Spångberg 1973). La mayoría de los profesionales Americanos usan el hipoclorito de sodio al 5.25%, sin embargo, han sido publicadas irritaciones muy severas cuando estas soluciones fueron extruídas a los tejidos periapicales (Hülsmann 2000).

Una solución de hipoclorito al 5.25% disminuye el módulo elástico de la misma y la fuerza de flexión de dentina humana cuando es comparado con la solución fisiológica salina; mientras que en una solución al 0.5% de hipoclorito esto no ocurre (Sim 2001). La causa probable es la acción proteolítica del hipoclorito de sodio concentrado sobre la matriz de colágeno de la dentina. Por otro lado, observaciones hechas in vitro muestran que el 1% de hipoclorito de sodio debería ser suficiente para disolver el tejido pulpar completamente durante un tratamiento, aunque sería necesario ampliar el tiempo de irrigación (Sirtes 2005). Sin embargo, un estudio reciente demostró que con una concentración de hipoclorito superior, la capacidad de disolver el tejido pulpar se puede llegar a multiplicar incluso por diez (Stojicic 2010), lo cual es muy interesante desde un punto de vista clínico.

Aumento en la eficacia de los preparados de hipoclorito:

El cloro reactivo en solución acuosa a la temperatura del cuerpo puede, en esencia, tomar dos formas: hipoclorito (OCI) o ácido hipocloroso (HOCl). La concentración de estos puede ser expresada como el cloro disponible por determinada cantidad electroquímica equivalente de los elementos de cloro. El estado del cloro va a depender del pH de la solución, por encima de un pH de 7.6, la forma predominante es hipoclorito, mientras que por debajo de este valor lo que tenemos es ácido hipocloroso. Ambas formas oxidantes son sumamente reactivas. Soluciones puras de hipoclorito como las usadas en endodoncia tienen un pH de 12 (Frais 2001), y así se dispone del cloro en forma OCI. Sin embargo, en niveles idénticos de cloro disponible, el ácido hipocloroso es más bactericida que el hipoclorito (Bloomfield 1979). Un modo de aumentar la eficacia de soluciones de hipoclorito podría ser bajar su pH, de esta forma las soluciones serían también menos tóxicas para los tejidos vitales (Cotter 1985). Sin embargo, el hipoclorito con estas características es una solución mucho más inestable, con una disminución de su vida media, siendo esta menor a una semana (Cotter 1985).

Una alternativa para mejorar la eficacia del hipoclorito de sodio en el sistema de conductos radiculares es el incremento de temperatura. Esto mejora de inmediato su capacidad de disolución de tejido (Thé 1979, Cunningham 1980, Abou-Rass 1981, Stojicic 2010). Además, el aumento de temperatura del hipoclorito, elimina mejor los restos de tejido orgánico de la dentina de una forma más efectiva que el hipoclorito no caliente (Kamburis 2003). En un estudio ha sido demostrado que la capacidad de disolución de tejido pulpar humano es igual con 1% de hipoclorito a 45° que 5.25% a 20°C (Sirtes 2005). Por otro lado, la toxicidad sistémica del hipoclorito precalentado debería ser inferior

que el hipoclorito a temperatura ambiente a mayor concentración (Cunningham 1980). Un posible problema podría ser el deterioro del hipoclorito al aumentar la temperatura. Ha sido demostrado, que la solución del hipoclorito de sodio es estable durante un período de 4 horas cuando es calentado a 37°C (Frais 2001). Sirtes et al. (Sirtes 2005) encontraron que disoluciones de hipoclorito al 1%, 2.62% y 5.25% tienen cloro disponible en buenas condiciones al menos durante una hora a 45 o 60°C. Por lo que podemos decir que un buen método para aumentar la eficacia del hipoclorito de sodio, sería aumentar su temperatura ya que se ve aumentada su capacidad de disolución de tejido, siempre teniendo en cuenta que este se puede degradar en un período de tiempo relativamente corto tras su calentamiento.

Otro factor a tener en cuenta es la reposición del hipoclorito. Cuando este entra en contacto con el tejido orgánico, reacciona con los ácidos grasos creando glicerol, lo que se conoce como reacción de saponificación. El hipoclorito también reacciona con los aminoácidos creando una sal y agua (neutralización). Estas reacciones, que ocurren principalmente en la superficie, conducen a la licuefacción de los tejidos orgánicos (Estela 2002). Al mismo tiempo, se consumen las moléculas de hipoclorito de sodio implicadas en la reacción, resultando una disminución de la actividad local del mismo. Debido a esto, es sumamente importante el continuo suministro de hipoclorito activo a la zona para que se sigan produciendo las reacciones de licuefacción y para remover los restos de tejido orgánico disuelto (Stojicic 2010). Aunque no se conoce con detalle, es posible que este mejor rendimiento del hipoclorito con agentes tensioactivos sea debido en parte al mayor contacto de este con la superficie del tejido así como al intercambio más rápido con la solución nueva de hipoclorito, ambos debidos a este agente tensioactivo superficial.

Agentes que aumentan la tensión superficial al hipoclorito fueron descritos por primera vez por Cameron (Cameron 1986), quien demostró que la adición de estos agentes modificadores de la superficie mejoraban la capacidad del hipoclorito de sodio para disolver el tejido orgánico. Clarkson (Clarkson 2006) probó la capacidad de disolución de tres tipos diferentes de hipoclorito y mostró que los productos con agentes tensioactivos diluían la pulpa porcina en menor tiempo que el hipoclorito de sodio convencional a la misma concentración. Stojicic (Stojicic 2010) no sólo confirma estos datos, si no que también mostró que estos efectos se mantenían incluso cuando el hipoclorito se diluye, calienta o agita.

El tiempo de irrigación también es un factor a tener en cuenta en los estudios de endodoncia (Sjögren 1997). El hipoclorito de sodio requiere un tiempo de trabajo adecuado para alcanzar su potencial (McDonnell 1999). Esto debe ser tenido en cuenta debido a que las nuevas técnicas de preparación y conformación del sistema de conductos radiculares son cada vez más rápidas (Peters OA 2004). El tiempo de irrigación, por tanto es otro factor a tener en cuenta, este depende en gran medida de los otros factores. Va a depender de la concentración, temperatura, tipo de tejido a disolver, de la reposición del mismo y también de la presencia o no de agentes tensioactivos.

La activación del irrigante, especialmente la ultrasónica, mejora la limpieza del sistema de conductos (Martin 1976, Stojicic 2010), este aspecto será tratado más en profundidad posteriormente.

2.6.3.- Quelantes:

Aunque el hipoclorito de sodio parezca ser el irrigante más deseable para usar de forma única, este no puede disolver las partículas de dentina inorgánicas y así prevenir la formación de barrillo dentinario durante la instrumentación (Lester 1977). Además, son con frecuencia encontradas calcificaciones que dificultan la preparación del sistema de conductos. Agentes desmineralizantes como el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) (Nygaard 1957) y ácido cítrico (Loel 1975) son recomendados como coadyuvantes en la terapia del conducto radicular. Estos son sumamente compatibles y comúnmente empleados (Coons 1987).

El ácido cítrico parece ser ligeramente más potente en concentraciones similares al EDTA, sin embargo, ambos agentes muestran una alta eficacia en la remoción del barrillo dentinario (Zehnder 2005). Además de su limpieza, los quelantes pueden separar los biofilms adheridos a las paredes del conducto radicular. Esto puede explicar por qué el EDTA demostró ser sumamente superior a la solución salina en la reducción intraconducto de microbiota (Yoshida 1995), a pesar de que su capacidad antiséptica es relativamente limitada (Patterson 1963).

Antisépticos como compuestos de amonio cuaternario (EDTAC (Nygaard 1957)) o antibióticos de tetraciclina (MTAD (Torabinejad 2003)), han sido añadidos al EDTA y ácido cítrico respectivamente para aumentar su capacidad antimicrobiana. El valor clínico de esto, sin embargo, es cuestionable. El EDTAC muestra una eliminación similar del barrillo dentinario al EDTA, pero es más cáustico (Patterson 1963). Agentes quelantes pueden ser aplicados en líquido o en forma tipo pasta (2003 Hülsmann).

Un aspecto importante relacionado con soluciones de irrigación actualmente disponibles son su capacidad de interactuar conjuntamente, por ejemplo el EDTA o el ácido cítrico interactúan fuertemente con el NaOCl (Baumgartner 1987). Tanto el ácido cítrico como el EDTA reducen inmediatamente el cloro disponible en la solución, provocando esto que el hipoclorito de sodio sea ineficaz sobre las bacterias y el tejido necrótico (Zehnder 2006). De ahí, que el ácido cítrico o el EDTA nunca deberían ser mezclados con el hipoclorito de sodio. El "efecto de burbujeo" es sólo la prueba de la reacción química que tiene lugar entre hipoclorito por un lado con el EDTA y el peróxido de hidrógeno (de estar contenida en la pasta quelante) por otro lado, causando una evaporación de gas (Baumgartner 1987).

El hidroxietileno bifosfonato (HEBP), es un agente de descalcificación que muestra poca interferencia a corto plazo con el hipoclorito de sodio. Ha sido sugerido como alternativa al ácido cítrico o al EDTA (Zehnder 2006) en la terapéutica del conducto radicular. HEBP impide la resorción de hueso y es usada sistémicamente en pacientes que sufren osteoporosis o la enfermedad de Paget (Russell 2005).

Un estudio reciente resaltó la posibilidad del empleo del ácido fosfórico para la eliminación del barrillo dentinario. En este estudio no se observaban diferencias estadísticas significativas con el EDTA 17% y el ácido cítrico 10% cuando estos eran empleados durante 30 segundos. Sin embargo, cuando se aplicaba el ácido fosfórico durante 1 minuto, este parece que mejora el efecto comparado con los otros dos (Prado 2011).

2.7.- Régimen sugerido de irrigación:

Como se ha indicado previamente, los productos químicos usados para limpiar conductos infectados, deben ser administrados de tal manera que ellos puedan emplear todo su potencial sobre sus objetivos. De ahí que el hipoclorito de sodio debería ser empleado en todas las fases de la instrumentación sin alternarlo con EDTA o ácido cítrico. Los conductos deberían estar siempre llenos de hipoclorito de sodio, de esta forma aumentará el tiempo de funcionamiento del irrigante. Además, la eficacia de corte de los instrumentos manuales se ve mejorada (Yguel-Henry 1990) y la carga torsional sobre los instrumentos de níquel titanio se ve reducida (Peters 2005). En cuanto a la corrosión de los instrumentos, esta ha sido descrita cuando estos están en contacto con el hipoclorito de sodio durante un tiempo prolongado (Kuphasuk 2001), sin embargo, no se han encontrado estos efectos cuando los períodos de contacto son cortos (Haikel 1998).

Durante la fase de instrumentación, los conductos deberían ser limpiados abundantemente con hipoclorito de sodio. Cuando el proceso de conformación es completado, los conductos pueden ser limpiados utilizando EDTA o ácido cítrico. Generalmente cada conducto debería ser limpiado durante un minuto con 5-10 ml de la sustancia quelante. Debe ser tenido en cuenta que una exposición prolongada a quelantes como EDTA puede debilitar la dentina de la raíz (Calt 2002).

Después de la remoción del barrillo dentinario, un lavado final con una solución antiséptica parece beneficiosa. La opción del irrigante final depende del siguiente paso de tratamiento, por ejemplo, si una medicación interconsulta está planificada o no. Si empleamos hidróxido de calcio como medicación intermedia, el aclarado final debería ser

con hipoclorito de sodio ya que estos dos productos químicos son absolutamente complementarios.

En los casos donde aparece necrosis o bien en los retratamientos (donde existen gran cantidad de bacterias gram-positivas), la clorhexidina parece ser el irrigante final ideal ya que presenta afinidad por los tejidos esclerosos y una vez unida a la superficie dentinaria, prolongan su actividad antimicrobiana, un fenómeno llamado sustantividad. Esta, no es observada en el hipoclorito de sodio.

Un protocolo clínico sugerido antes de la obturación consiste en el empleo en primer lugar, de hipoclorito de sodio para disolver los tejidos orgánicos, una irrigación posterior con EDTA para eliminar el barrillo dentinario y una irrigación final con clorhexidina para impartir sustantividad antibacteriana. Para esta combinación se debe tener en cuenta las posibles interacciones entre estos irrigantes.

Diversos estudios han relatado informes sobre el precipitado formado cuando se unen el hipoclorito y la clorhexidina. Basrani et cols. (Basrani 2007) demostraron que la mezcla de ambos podía formar PCA (para-cloroanilina) y que esta aumenta directamente con la concentración del hipoclorito de sodio. Las conclusiones de este estudio son clínicamente relevantes pues se ha demostrado que la PCA es tóxica (Chhabra 1991, Burkhardt-Holm 1999) pues se forma metahemoglobina (Burkhardt-Holm 1999). Un estudio más reciente ha demostrado que no se produce exactamente PCD, si no una molécula similar, PCU y un enlace alifático (PCGH). Aunque no hay datos de toxicología sobre estos compuestos, la literatura relacionada sugieren que esta puede ser tóxica ya que PCU puede ser metabolizada por PCA (Nowicki 2011). Además, un estudio reciente, ha demostrado que la combinación de 1% de hipoclorito de sodio y 2% de clorhexidina

causaron la formación de un precipitado que funciona como un barrillo dentinario químico y que afecta a la permeabilidad de los túbulos dentinarios (Akisue 2010).

En consecuencia, a la formación de este precipitado, debería utilizarse un irrigante intermedio para impedir la formación del mismo sobre los túbulos dentinarios y comprometer el sellado del conducto. Futuras investigaciones deberán ir encaminadas a determinar los efectos posibles de PCU y sus metabolitos sobre los tejidos dentales y periapicales.

Propuesta de irrigación:

- Se recomienda irrigar continuamente durante todo el procedimiento.
- Se debe mantener la cámara pulpar siempre llena de irrigante.
- Se recomienda irrigar con volúmenes grandes, 2 a 5 ml por conducto entre cada instrumento.
- Para la irrigación final se recomienda un volumen de 10 ml de hipoclorito de sodio por conducto (activándolo también ultrasónicamente), seguido de una irrigación con EDTA (5-10 ml) durante 1-2 minutos y finalmente una irrigación final con otros 10 ml de hipoclorito de sodio (Zaccaro 2000).
- Al final, se puede realizar una última irrigación con alcohol al 95% para asegurar que el conducto se queda seco (Hülsman 1998).
- En los casos de necrosis o bien en retratamiento, se debe emplear clorhexidina (5-10 ml por conducto) debido a la sustantividad de la misma. Siempre debemos realizar un lavado previo del conducto con una sustancia inerte (solución salina) para evitar la formación del precipitado clorhexidina-hipoclorito de sodio.

2.8.- Sistemas de entrega y agitación de irrigantes

A lo largo de la historia de la endodoncia, se ha tratado de desarrollar continuamente sistemas de entrega y agitación del irrigante. Estos sistemas podrían ser divididos en dos amplias categorías: técnicas de agitación manuales y sistemas de agitación ayudados por máquinas.

2.8.1.- Sistemas de agitación manuales

2.8.1a.- Jeringa de irrigación con aguja/cánula, irrigación pasiva, irrigación por presión positiva:

La irrigación convencional con jeringa ha sido abogada como un método eficiente de irrigación antes de la introducción de la activación pasiva ultrasónica (Van der Sluis 2006). Esta técnica todavía es ampliamente aceptada por odontólogos generales y endodncistas. La técnica consiste en la entrega de un irrigante en un conducto a través de una aguja/cánula de medida y diámetro variable pasivamente o con agitación. Esta, se emplea realizando movimientos de arriba abajo dentro del conducto. Algunas de estas cánulas son diseñadas para dispensar el irrigante en su parte más distal, mientras que otras lo son para expulsar el mismo lateralmente (Kahn 1995). Este último diseño ha sido propuesto para mejorar la activación hidrodinámica del irrigante y reducir la probabilidad de extrusión apical (Hauser 2007). Es crucial que la aguja/cánula permanezca floja dentro del conducto durante la irrigación. Esto permite al irrigante refluir y limpiar el conducto con salida del irrigante coronalmente. Una de las ventajas de la irrigación con jeringa es que permite de una forma relativamente sencilla el control de la profundidad de la aguja

dentro del conducto y el volumen de irrigante que se introduce en el conducto (Van der Sluis 2006).

Sin embargo, la acción de limpieza con la aguja convencional es relativamente débil. Algunas zonas e irregularidades del sistema de conductos pueden albergar restos de tejido y bacterias, dificultando de esta forma la limpieza del conducto (Wu 2001, Nair 2005, Wu 2006). Por otro lado, un estudio ha mostrado que cuando empleamos una jeringa con aguja convencional, la solución de la irrigación es llevada sólo un milímetro mas allá de la punta de la misma (Ram 1977). Esta publicación es inquietante ya que la mayoría de los clínicos no suelen llevar la aguja más allá del tercio medio (Chow 1983). O'Connell evaluó la eficacia de 3 tipos de sales de EDTA y hipoclorito empleando alternativamente una jeringa Monoject de diámetro 27. Este demostró que la capacidad de limpieza de las soluciones eran adecuadas en el tercio coronal y medio pero eran menos efectivas en el tercio apical (O'Connell 2000). Incluso después de una irrigación con EDTA y NaOCl con agujas de salida lateral o apical colocadas a 1 mm de la longitud de trabajo, una abundante cantidad de barrillo dentinario permaneció en la región apical de los conductos radiculares (Yamada 1983, Goldman 1976). Es decir, que la profundidad de penetración de la solución irrigante y su capacidad para desinfectar túbulos dentinarios es por lo tanto limitada.

La necesidad de ampliar el conducto radicular para mejorar la eficacia de irrigación fue reconocida por Grossman (Grossman 1943). Ha sido descrito que la irrigación con jeringa es menos efectiva cuando el conducto es ampliado hasta un número menor a 40 en el ápice (Wu 1995, Falk 2005). Los datos del estudio de Falk y Sedgley (Falk 2005) mostraron que la eficacia de irrigación era significativamente más reducida en conductos preparados hasta 35 comparados con conductos preparados hasta 60, pero sin una

ventaja cuando el conducto era ensanchado hasta un 75. Por lo tanto, los clínicos deben equilibrar la necesidad de ampliación del conducto para facilitar la entrada de los irrigantes y las consecuencias negativas de la reducción inadvertida en grosor de la dentina radicular y debilitamiento subsecuente de la estructura de la raíz (Lertchirakarn 2003).

Los factores que han mejorado la eficacia de la jeringa incluyen una mayor proximidad de la aguja al ápice (Chow 1983, Goldman 1976, Sedgley 2005), un mayor volumen de irrigación (Sedgley 2004) y una medida más pequeña de las agujas de irrigación (Chow 1983). Las agujas de irrigación con un diámetro más pequeño pueden alcanzar zonas más profundas y reemplazar más eficientemente el irrigante al mismo tiempo de limpiar mejor el sistema de conductos (Van der Sluis 2006, Ram 1977, Sedgley 2005). Sin embargo, cuanto más cercana esté la punta de la aguja al ápice, las probabilidades de extrusión apical van a ser mayores (Ram 1977, Chow 1983). Una entrega del irrigante de forma lenta puede minimizar los accidentes por NaOCl. Con un empleo cuidadoso, las ventajas de una irrigación intraconducto profunda deberían sopesar más que sus riesgos (Abou-Rass 1981). La cantidad de irrigante y el cambio del mismo deberían ser considerados como factores directamente influyentes en el flujo más allá de la cánula (Boutsioukis 2007). Sin embargo, es difícil estandarizar y controlar el caudal de fluido durante la irrigación con jeringa (Boutsioukis 2007). Sería ventajoso desarrollar nuevos sistemas que incrementasen la penetración del mismo en los túbulos dentinarios. Esto aseguraría una limpieza más cuidadosa de los conductos, reduciendo la posibilidad de extrusión al periápice (Bradford 2002, Serper 2004).

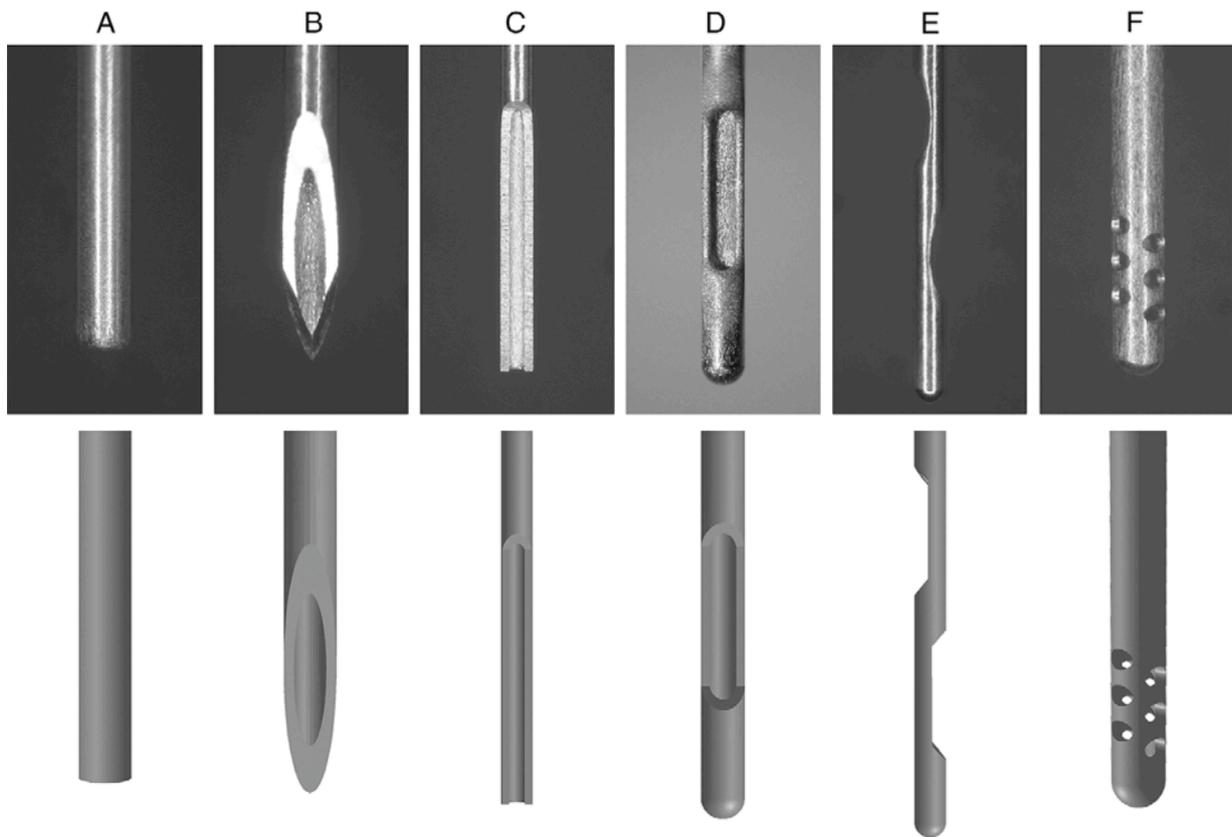


Fig. 1.- Jeringas comercializadas de diámetro 30. (A-C) Final abierto: (A) flat (NaviTip; Ultradent, South Jordan, UT), (B) beveled (PrecisionGlide Needle; Becton Dickinson & Co, Franklin Lakes, NJ), y (C) notched (Appli- Vac Irrigating Needle Tip; Vista Dental, Racine, WI). (D-F) Final cerrado (Close-ended needles): (D) salida lateral (side-vented) (KerrHawe Irrigation Probe; KerrHawe SA, Bioggio, Switzerland), (E) doble salida lateral (double side-vented) (Endo-Irrigation Needle; Transcodent, Neumunster, Germany), y (F) multiples salidas (multi-vented) (EndoVac Microcannula; Discus Dental, Culver City, CA).

2.8.1b.- Cepillos:

Estrictamente, los cepillos no son usados directamente para la entrega del irrigante en el conducto radicular. Ellos trabajan conjuntamente con el irrigante para limpiar las

paredes del conducto o agitar el conducto de la raíz. Recientemente, fue recubierta con un cepillo una aguja de diámetro 30 (NaviTip FX; Ultradent Products Inc, South Jordan, UT). Un estudio relató la limpieza mejorada del tercio coronal de un conducto instrumentado y posteriormente irrigado y agitado con NaviTip FX (Al-Hadlaq 2006). Sin embargo, las diferencias en el tercio apical y medio no eran estadísticamente significativas.



Fig. 2.- Navitip FX

A principios de los años 90, se llegaron a conclusiones similares con el empleo de cepillos estudiados por Keir (Keir 1990). Ellos usaron el Endobrush en un movimiento activo y en rotación. El endobrush (C&S Microinstruments Ltd, Markham, Ontario, Canada) es un cepillo espiral diseñado para el empleo en endodoncia que consiste en un juego de cerdas de nailon en cables torcidos y que tiene un diámetro relativamente constante a lo largo de su longitud. La limpieza con el Endobrush era considerablemente mejor que instrumentar solamente el conducto. Sin embargo, el Endobrush no podía ser usado a longitud de trabajo ya que podría llevar al acúmulo de restos del mismo en la zona apical después del cepillado (Keir 1990).

2.8.1c.- Irrigación dinámica manual

El irrigante debe estar en contacto directo con las paredes del conducto para conseguir una acción efectiva. Sin embargo, es a menudo difícil para el irrigante alcanzar la porción apical del conducto debido al denominado "vapor lock" (Pesse 2005, Schoeffel 2008). La investigación ha demostrado que realizando movimientos superiores e inferiores de 2-3 mm en un conducto con un cono maestro de gutapercha en un conducto instrumentado, se puede producir un efecto hidrodinámico eficaz mejorando el desplazamiento y cambio del irrigante llevado al sistema de conductos. Esto ha sido confirmado por McGill et al (McGill 2008) y Huang et al (Huang 2008). Todos estos estudios, demostraron una superioridad de la irrigación manual dinámica frente a algunos sistemas automáticos de irrigación y la irrigación pasiva.

Aunque la irrigación manual dinámica haya sido abogada como un método eficaz de agitación del irrigante, además de ser un método simple y rentable, la naturaleza laboriosa de este procedimiento activado "a mano" todavía dificulta su uso en la práctica rutinaria clínica. Por lo tanto, se desarrollaron una serie de dispositivos automatizados diseñados para la agitación del irrigante que están disponibles comercialmente.

2.8.2.- Sistemas de agitación ayudado por máquinas:

2.8.2a.- Cepillos rotatorios

Una pieza de mano rotatoria a la que se añadió un cepillo (endodontic microbrush) fue usada por Ruddle (Ruddle 2001) para facilitar la eliminación de tejido orgánico así como del barrillo dentinario de los conductos radiculares instrumentados. Este presenta

múltiples cerdas que se extienden radialmente a un eje central. Durante la fase de limpieza, el microcepillo gira aproximadamente a 300 revoluciones por minuto, haciendo que las cerdas se deformen en las irregularidades de la preparación. Esto ayuda a desplazar los desechos residuales hacia afuera del conducto en dirección coronal. Sin embargo, este producto no ha llegado a ser comercializado.



Fig. 3 .- Endodontic microbrush

El CanalBrush (Coltene Whaledent, Langenau, Alemania) es un microcepillo endodóncico que si se ha comercializado. Este microcepillo sumamente felxible es moldeado completamente de polipropileno y puede ser usado a mano con acción rotatoria. Sin embargo es más eficaz cuando se conecta a un contra-ángulo a 600 revoluciones por minuto. Una investigación de Weise et al (Weise 2007) mostró que el empleo del CanalBrush con un irrigante eliminaba los restos de tejido de una forma efectiva de los conductos laterales simulados y de irregularidades del sistema de conductos.

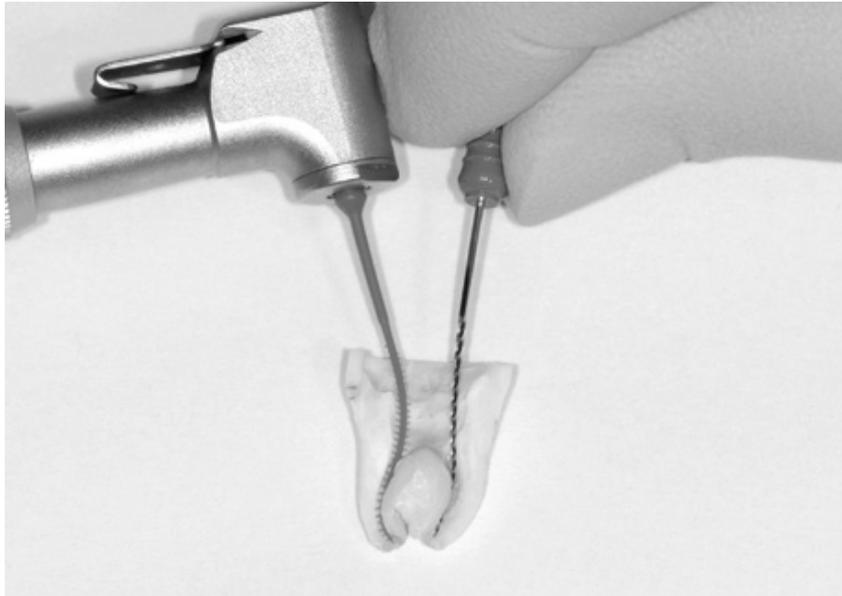


Fig. 4.- CanalBrush

2.8.2b.- Irrigación continua durante la instrumentación rotatoria

El sistema de irrigación Quantec-E (SybronEndo, Orange, CA) es una unidad independiente de entrega de irrigante que está conectada al sistema Quantec-E Endo. Emplea una bomba, un depósito de irrigación, y una tubería que proporciona la irrigación continua durante la instrumentación rotatoria (Walters 2002). Idealmente, la agitación continua del irrigante durante la instrumentación rotatoria activa puede generar un incremento del volumen del irrigante, así como el tiempo de contacto entre el conducto y el propio irrigante. Esto debería provocar una limpieza más eficaz que la jeringa tradicional de irrigación, sin embargo estas conjeturas no fueron apoyadas por el trabajo de Setlock et Al (Setlock 2003). Este comparó la irrigación con Quantec-E con la irrigación pasiva tradicional. La irrigación de Quantec-E resultó limpiar mejor y de una forma más completa los remanentes de tejido así como el barrillo dentinario del tercio coronal de las paredes de conducto. Sin embargo, estas ventajas no fueron observadas en el tercio medio y

apical del conducto (Setlock 2003). Esto también fue confirmado por Walters (Walters 2002), quien encontró que no había ninguna diferencia significativa entre el estándar de irrigación de jeringa y la irrigación con la bomba Quantec-E.

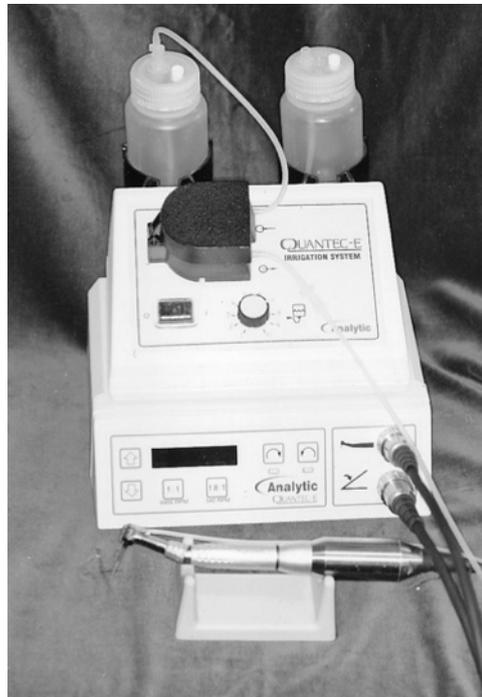


Fig. 5.- Quantec-E.

2.8.2c.- Irrigación sónica

Frecuencia y oscilación del instrumento sónico.

Tronstad et al. (Tronstad 1985) fueron los primeros en publicar el uso de un instrumento sónico para endodoncia en 1985. La activación sónica difiere de la ultrasónica ya que esta opera a una frecuencia más baja (1-6 kHz) (Ahmad 1987).

El modelo oscilante de los dispositivos sónicos es diferente al de los instrumentos ultrasónicos. El movimiento oscilatorio es puramente longitudinal, es decir, la energía sónica genera una amplitud significativamente mayor en sentido antero-posterior en la punta frente a la energía ultrasónica. Este modo de vibración ha sido mostrado para ser particularmente eficiente para la limpieza del conducto, porque expone amplitudes de desplazamiento grandes (Walmsley 1989).

Efecto de la irrigación sónica:

La activación sónica ha sido mostrada para ser un método efectivo en la desinfección de los conductos radiculares, algunos artículos representativos son: Pitt 2005, Tronstad 1985, Barnett 1985, Stamos 1987, Reynolds 1987, Pugh 1989, Walker 1989, Jensen 1999, Sabins 2003, Ruddle 2008.

Sabins et al (Sabins 2003) y Stamos et al (Stamos 1987) conjeturaron que los sistemas ultrasónicos más poderosos eran más efectivos en la remoción de restos dentinarios que los sistemas de irrigación sónicos. La relación positiva entre la velocidad acústica y la frecuencia pueden explicar la superioridad en cuanto a la eficacia de los sistemas ultrasónicos frente a los sistemas sónicos.

De manera convencional, la irrigación sónica fue realizada empleando un Rispisonic conectado a una pieza de mano MM 1500 (Medidenta Internationa, Inc, Woodside, NY) después de la preparación del conducto. Sin embargo, las limas Rispisonic no tienen una conicidad uniforme, presentan una especie de púas, por lo que podrían contactar con la pared del conducto dañando la preparación del mismo. Por estos motivos, este instrumento no llegó a emplearse comercialmente para este fin.



Fig. 6.- Rispisonic

El EndoActivator System (Dentsply Tulsa Dental Specialities, Tulsa, OK) es el instrumento sónico más reciente (Ruddle 2008). Este consiste en una pieza de mano inalámbrica y 3 tipos de puntas de diferentes tamaños. Estas puntas son fuertes y flexibles y no rompen con facilidad. Como estas puntas son lisas, no cortan dentina. El sistema EndoActivator, es capaz de limpiar de forma efectiva los restos de conductos laterales, eliminar el barrillo dentinario y desligar los biofilms en los conductos curvos de los molares (Caron 2010). Durante su uso, la acción de la punta del EndoActivator con frecuencia produce una nube de restos de tejido que pueden ser observados en la cámara pulpar. La vibración de la punta, en combinación con el movimiento de la misma arriba y abajo en cortos golpes verticales, produce un poderoso fenómeno hidrodinámico (Ruddle 2002). En general, fueron mostrados 10.000 ciclos por minuto para optimizar la limpieza y desligar el barrillo dentinario y los biofilms de las paredes del conducto (Caron 2010). Sin embargo, en un estudio reciente de Uroz-Torres (Uroz-Torres 2010), dice que no había diferencias estadísticamente significativas en la remoción de barrillo dentinario entre el EndoActivator y las jeringas de irrigación tradicionales.

Una posible ventaja del EndoActivator es su seguridad. Desai (Desai 2009) en un estudio en el que analizaron la extrusión de diversos mecanismos de agitación del irrigante, demostraron que el EndoActivator producía menos extrusión de irrigante que la irrigación ultrasónica, la irrigación con jeringa convencional y el RinsEndo. Otra posible

ventaja de este sistema (aunque existe controversia en la literatura), es la disminución de la carga bacteriana comparado con la irrigación de hipoclorito sin agitar (Pasqualini 2010). Sin embargo, este aspecto no está de todo demostrado, ya que en un estudio previo compararon la eficacia de reducción bacteriana entre el EndoActivator, el EndoVac y la irrigación convencional y no encontraron diferencias estadísticamente significativas (Brito 2009).

Una posible desventaja de las puntas es que son radiolúcidas. Aunque estas puntas fueron diseñadas para no romper fácilmente durante su uso, sería muy difícil identificarlas si se rompiesen dentro del conducto. Por lo visto, estas puntas podrían ser mejoradas si se incorporase una sustancia radioopaca en el polímero.



Fig. 7.- EndoActivator

2.8.2c.- Ultrasonidos

Los dispositivos ultrasónicos fueron usados mucho tiempo para periodoncia antes de que Richman (Richman 1957) introdujese los ultrasonidos para endodoncia en 1957. En 1980, una unidad ultrasónica diseñada por Martin et Al (Martin 1980) comenzó a ser

comercializada. Comparada con la energía sónica, la energía ultrasónica produce frecuencias mayores pero amplitudes menores (Walmsley 1989). Las puntas fueron diseñadas para oscilar a frecuencias de 25-30 kHz, que están mas allá del límite de la percepción auditiva humana (>20 kHz). Funciona en una vibración transversal, con un patrón característico de nodos y antinodos a lo largo de su longitud (Walmsley 1989, van der Sluis 2007). Existen una gran cantidad de literatura sobre la irrigación ultrasónica, algunos artículos representativos son: Gutarts 2005, Cunningham 1982, Van der Sluis 2006, Alacam 1987, Cameron 1995, Ahmad 1987, Reynolds 1987, Jensen 1999, Sabins 2003, Lee 2004, Gulabivala 2004, van del Sluis 2005, Passarinho-Neto 2006, Carver 2007, Munley 2007, Burleson 2007, Ferreira 2008.

Dos tipos de irrigación ultrasónica han sido descritos en la literatura. El primer tipo combina una instrumentación e irrigación ultrasónica simultánea (UI). El segundo tipo, también llamado irrigación pasiva ultrasónica (PUI), funciona sin una instrumentación simultánea. Estudios que emplean ultrasonidos UI presentan unos conductos significativamente más limpios que los preparados convencionalmente (Martin 1980, Cunningham 1982, Martin 1982, Goodman 1985, Lev 1987, Archer 1992, Lee 2004). Sin embargo, otros estudios no han demostrado la superioridad de UI como técnica de limpieza y conformación (Ahmad 1987, Reynolds 1987, Weller 1980, Baker 1988, Goldman 1988, Walker 1991). Estos resultados podrían ser atribuidos a la disminución del movimiento vibratorio dentro de una raíz con un espacio insuficiente (Ruddle 2008). Perforaciones y preparaciones irregulares son frecuentemente producidas (Lumley 1992, Walmsley 1991). Por lo tanto, UI no es generalmente empleada como una alternativa a la instrumentación (Giangreggo 1985, Abbott 1991). Por el contrario, la literatura endodóncica muestra que es más ventajoso aplicar el ultrasonidos después de la preparación completa

del conducto radicular (Zehnder 2006). Todo esto se abordará como irrigación pasiva ultrasónica (PUI).

El término PUI fue empleado por primera vez por Weller (Weller 1980) para describir un mecanismo de irrigación en el que no había ninguna instrumentación o contacto entre las paredes del conducto con un instrumento o punta endodóncica (Jensen 1999). Con esta tecnología no cortante, el potencial para crear aberraciones en el conducto fue reducido. Durante PUI, la energía es transmitida de una punta oscilante al irrigante presente en el conducto de la raíz mediante ondas ultrasónicas. Este induce un movimiento y una cavitación del irrigante (Ahmad 1987).

Métodos de aplicación del irrigante durante PUI

Dos métodos de aplicación del irrigante podrían ser utilizados durante PUI, llamados irrigación continua o bien irrigación intermitente empleando una jeringa (Cameron 1988). En la irrigación intermitente, el irrigante es inyectado en el conducto de la raíz, teniendo que rellenar varias veces el conducto, después de cada ciclo de activación ultrasónico. En este conocemos la cantidad de irrigante que fluye por la región apical del conducto, pudiendo ser controlado, ya que conocemos tanto la profundidad de penetración de la jeringa, como el volumen de irrigante administrado. En el régimen de irrigación continua podemos también controlar el volumen de irrigante pero no de una forma tan exacta la profundidad de penetración del irrigante. Ambos métodos de limpieza han mostrado ser eficaces en la eliminación de detritus del conducto (Van der Sluis 2006).

El cloro, que es el responsable de la disolución de los tejidos orgánicos y que posee las propiedades antibacterianas (Zehnder 2006), es inestable y se consume rápidamente

durante la primera fase de la disolución de tejido pulpar, probablemente en unos 2 minutos (Moorer 1982). Por lo tanto, un sistema de entrega que sea capaz de reponer continuamente el irrigante en el conducto es muy deseable. Un adaptador que sostiene una aguja ultrasónica ha sido desarrollado por Nusstein (Nusstein 2005), de tal forma que este pueda llevar apicalmente un flujo continuo de irrigante en vez de forma intermitente como fue citado en estudios anteriores (Goodman 1985, Lev 1987, Hiadet 1989, Metzler 1989). El empleo de esta tecnología de irrigación continua para la irrigación final después de la instrumentación fue estudiada in vitro. Los datos de estos estudios demostraron que un minuto de irrigación continua ultrasónica producía una limpieza significativamente mayor en conductos e istmos en dientes vitales y necróticos (Gutarts 2005, Burleson 2007). Este sistema también causó una reducción considerable en la cantidad de unidades formadoras de colonias (CFU) en molares necróticos infectados humanos (Carver 2007). Estos resultados positivos podrían ser atribuidos a la llegada continua de irrigantes dentro del conducto. Además esta técnica también causó una reducción del tiempo requerido para la irrigación ultrasónica (Druttman 1989).

Remoción de tejido pulpar y restos de dentina

Hay un consenso general con que PUI es más efectivo que la jeringa de irrigación en la remoción de tejido pulpar y remanentes de dentina (Lee 2004, Metzler 1989). Esto podría ser debido a la mayor velocidad y al volumen de irrigante que es creado durante la irrigación ultrasónica (Lee 2004). Ha sido demostrado que grandes cantidades de restos dentinarios permanecen en las irregularidades del conducto así como en conductos ovales cuando la jeringa tradicional es empleada (Wu 2001, Cunningham 1982). Durante la irrigación ultrasónica, la oscilación de la lima puede provocar que los irrigantes lleguen a zonas poco accesibles así como tener una mayor capacidad para remover una mayor

cantidad de detritus. Cuando comparamos este tipo de activación con la sónica, la energía ultrasónica ha sido capaz de remover más restos dentinarios (Sabins 2003). Sin embargo, es posible que ambas técnicas pudieran producir grados similares de limpieza cuando la irrigación sónica es aplicada por un período de tiempo más largo (Jensen 1999, Lee 2004).

Remoción de barrillo dentinario

Una gran evidencia científica indica que PUI con agua como irrigante no es capaz de remover el barrillo dentinario (Cameron 1983, 1987). Cuando PUI es utilizada con hipoclorito de sodio al 3% una remoción completa fue descrita por Cameron (Cameron 1983, 1987). Estos resultados fueron posteriormente confirmados por Alacam (Alacam 1987) y Huque et al (Huque 1998) con diferentes concentraciones de NaOCl. Guerisoli (Guerisoli 2002) observaron que el barrillo dentinario era eficazmente eliminado del tercio coronal, medio y apical por medio del EDTAC (EDTA mas cetavion) y NaOCl usando una lima de 15 activada por ultrasonidos. Otros estudios están en desacuerdo con los resultados obtenidos de la eficacia de los ultrasonidos en la remoción del barrillo dentinario. Aunque haya sido demostrado que PUI era considerablemente mejor que la jeringa tradicional, Cheung y Stock (Cheung 1993) demostraron que no podían remover completamente el barrillo dentinario usando PUI y NaOCl al 1% durante 10 segundos. Otros estudios (Cameron 1995, Abbott 1991) también demostraron que PUI con EDTA o EDTA y NaOCl no removían completamente el barrillo dentinario de las paredes del conducto.

Remoción de bacterias

Numerosas investigaciones han demostrado que el empleo de PUI después de la instrumentación provocaba una reducción significativa del número de bacterias (Cunningham 1982, Sjögren 1987, Spoletti 2003) alcanzando resultados mucho mejores que con la jeringa clásica (Huque 1998, Spoletti 2003). Estos resultados positivos con el empleo de PUI podrían ser atribuidos a 2 factores principales: la potencia ultrasónica puede provocar la separación de los biofilms de la pared del conducto y la cavitación puede producir un debilitamiento temporal de la membrana haciendo la bacteria más permeable al NaOCl.

2.8.2e.- Dispositivos de alternación de presión

Hay dos dilemas asociados a la jeringa convencional de entrega del irrigante. Es deseable que los irrigantes entren en contacto directo con las paredes del conducto para limpiar de una forma eficaz así como para remover el barrillo dentinario. Sin embargo, es difícil para estos irrigantes llegar a la porción apical del conducto debido al atrapamiento de aire, cuando las puntas de la aguja son colocadas demasiado lejos de la zona apical de los conductos. A la inversa, si la punta de la aguja es colocada muy cerca del foramen apical, aumenta el riesgo de extrusión del irrigante a los tejidos periapicales (Hülsmann 2000). Una solución plausible para este problema podría ser el uso de sistemas de entrega y aspiración del irrigante de forma contomitante.

2.8.2f.- El sistema EndoVac

En el sistema EndoVac (Discus Dental, Culver City, CA) una macro o microcánula es conectada con un tubo a una jeringa de irrigación y aspiración de la unidad dental (Schoeffel 2008). La macrocánula plástica tiene un diámetro apical de 55 y una conicidad de 02. La microcánula tiene un diámetro de 32 y agujeros laterales en la aguja de final cerrado. Este sistema funciona por aspiración negativa, es decir, el irrigante es llevado al conducto por una jeringa pero es aspirado en la región apical o media por la micro o macrocánula. De esta forma, el hipoclorito se está renovando continuamente. Un estudio reciente mostró que el volumen de irrigante entregado por el sistema EndoVac era considerablemente más alto que el volumen entregado por irrigación por la jeringa tradicional en el mismo período de tiempo (Nielsen 2007). Este estudio también apoyo el uso del EndoVac para la eliminación de detritus a un milímetro de la longitud de trabajo que la irrigación con jeringa.

Aparte de la capacidad de evitar el atrapamiento de aire, el sistema EndoVac es también ventajoso debido a su gran seguridad ya que puede llevar los irrigantes a longitud de trabajo sin extruir irrigante al periápice (Nielsen 2007). Con el EndoVac el irrigante es llevado a longitud de trabajo y eliminado por presión negativa. Al igual que para el EndoActivator por tanto, se trata de un método seguro. Desai (Desai 2009) en un estudio en el que analizaron la extrusión de diversos mecanismos de agitación del irrigante, reportaron que el EndoVac era el mecanismo junto con el EndoActivator que producía menos extrusión de irrigante comparado con la irrigación ultrasónica, la irrigación con jeringa convencional y el RinsEndo.

En cuanto a su efecto antimicrobiano, un estudio reciente mostró que no existían diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la reducción de CFU en dientes infectados con *E. Faecalis* entre el EndoVac y los grupos de irrigación con jeringa tradicional (Miller 2010). Sin embargo, en cuanto a la limpieza apical Siu (Siu 2010) dijo que cuando empleamos EndoVac para el lavado final, si comparamos la cantidad de residuos apicales a 1 mm de la longitud de trabajo, entre este y la irrigación convencional ,existe una diferencia estadísticamente significativa favorable al EndoVac. Sin embargo, a tres milímetros de la longitud de trabajo, no se observan diferencias estadísticamente significativas.

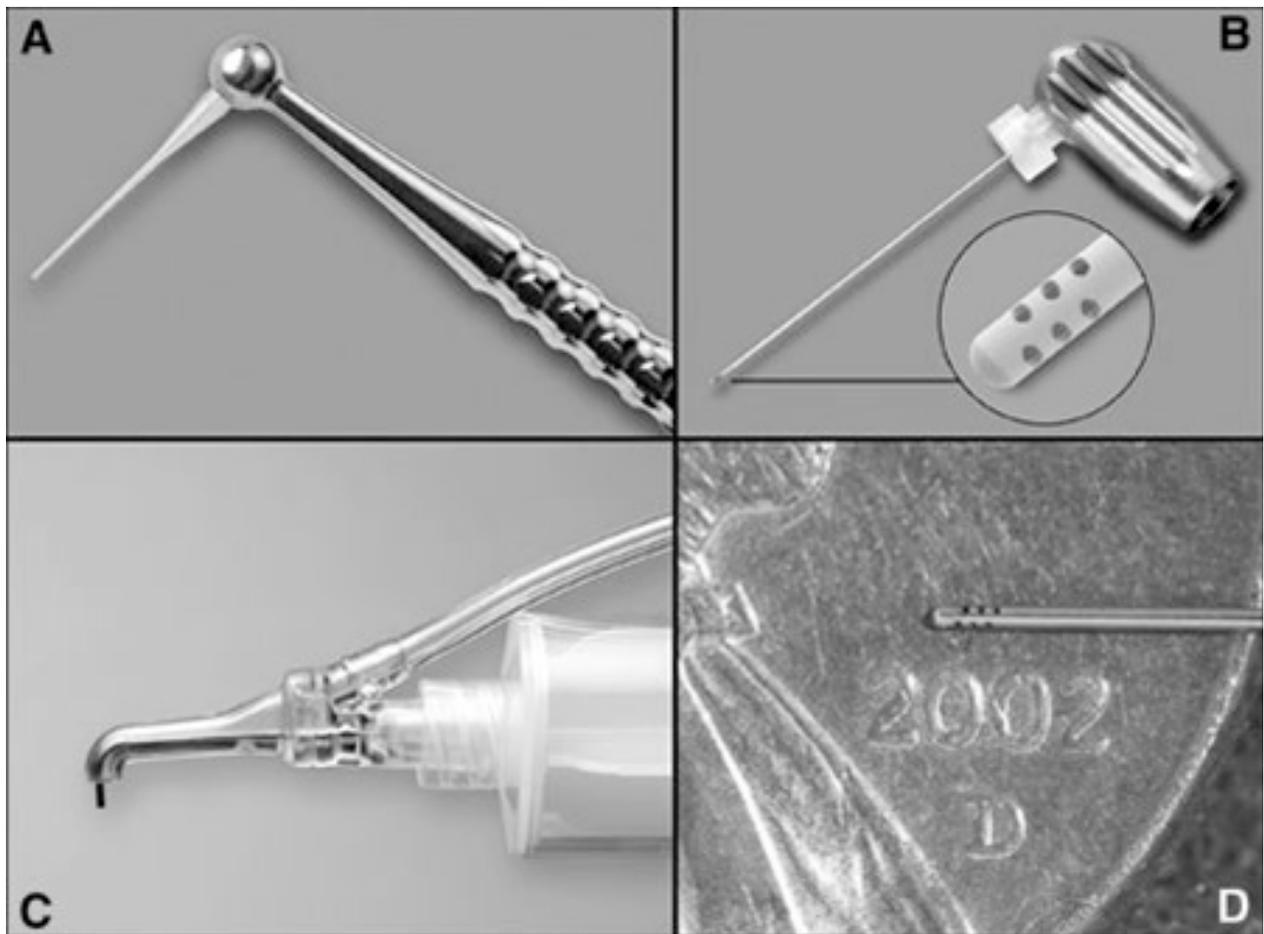


Fig.8 .- EndoVac

2.8.2g.- El sistema RinsEndo

El sistema RinsEndo (Dürr Dental) es otro método de activación del irrigante basado en la tecnología de succión de presión (Hauser 2007, McGill 2008). Con el sistema 65 ml de irrigante que oscilan a una frecuencia de 1.6 Hz son transportados con una jeringa al conducto con una cánula adaptada. Durante la fase de succión, la solución usada y el aire extraído del conducto de la raíz es automáticamente cambiado por una solución fresca que lo aclara. Los ciclos de succión de presión cambian aproximadamente 100 veces por minuto.

El fabricante de RinsEndo manifiesta que el tercio apical del conducto podría ser limpiado con la cánula colocada en el tercio coronal del conducto de la raíz. Este sistema ha sido mostrado en un modelo de diente extraído, siendo superior a la irrigación convencional estática con un marcador de tinte. Sin embargo, también fue observado una mayor probabilidad de extrusión apical del irrigante (Hauser 2007). La eficacia del sistema RinsEndo en la limpieza de las paredes del conducto fue estudiada por McGill (McGill 2008). Este llegó a la conclusión que el sistema RinsEndo era menos efectivo en la limpieza que la irrigación manual dinámica.



Fig.9 .- RinsEndo

2.8.2h.- El sistema ProUltra PiezoFlow

El ProUltra PiezoFlow es una aguja de irrigación ultrasónica (Dentsply Tulsa Especialidades Dentales). Emplea una irrigación continua por ultrasonidos (CUI) para una simultánea entrega del irrigante y activación del mismo, a diferencia de la irrigación ultrasónica pasiva, que necesita la reposición del irrigante de una forma intermitente a la activación ultrasónica. La agitación de hipoclorito de sodio (NaOCl) mejora la disolución de los tejidos, y su reposición continua proporciona un suministro ininterrumpido de cloro nuevo para la disolución de los tejidos orgánicos. Este sistema envía el irrigante al conducto activado ultrasónicamente, por lo que se disminuye el tiempo de preparación comparado con PUI. Es decir, que con este nuevo instrumento podemos activar el irrigante ultrasónicamente, aumentamos el volumen de irrigación y disminuimos el tiempo de irrigación.

Se trata de un mecanismo sencillo y cómodo de emplear, pues se conecta la aguja a la unidad ultrasónica a la vez que esta aguja va conectada a una jeringa por donde se envía el irrigante. La jeringa se lleva al conducto y se activa la unidad ultrasónica al mismo tiempo que se aplica el irrigante. Según las instrucciones del fabricante, la aguja no debe llevarse más allá del 75% de la longitud total del conducto y la unidad ultrasónica debe encontrarse a mitad de su potencia máxima. El movimiento que se debe realizar es un movimiento supero-inferior suave, sin exceder nunca el 75% de la longitud total del conducto.

Este novedoso aparato parece que puede mejorar mucho la irrigación en endodoncia, sin embargo, uno de los posibles problemas que puede presentar es el riesgo de extrusión de hipoclorito. Por lo que sería necesario realizar estudios de investigación en esta área.

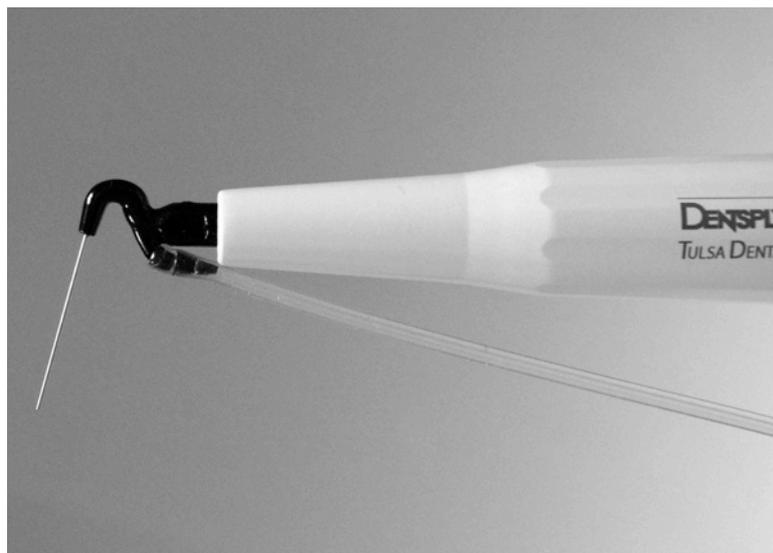


Fig. 10.- ProUltra PiezoFlow.

2.9.- Efecto del "vapor lock"

El atrapamiento de aire en un sistema de microconductos cerrado es un fenómeno físico bien conocido (Migun 1996, Migun 2002). La capacidad de un líquido de penetrar en estos sistemas cerrados depende del ángulo de contacto del líquido y la profundidad y tamaño del conducto (Pesse 2005). En todas las circunstancias, estos microconductos cerrados pueden ser inundados tarde o temprano después del tiempo suficiente (horas o hasta días) (Pesse 2005). Este fenómeno de atrapamiento de aire tiene implicaciones prácticas clínicas cuando el irrigante es entregado por las jeringas en el tercio medio y coronal del conducto radicular. Como la irrigación endodóncica es realizada en un tiempo de minutos en vez de horas o días, podría excluirse la región apical de una desinfección adecuada por parte del irrigante.

Este fenómeno físico ha sido descrito como efecto "vapor lock" o burbuja de aire. En el estudio clásico descrito por Senia (Senia 1971), ellos demostraron que el NaOCl no llegaba a penetrar a más de 3 mm de la longitud de trabajo incluso después de haber instrumentado el conducto hasta un diámetro apical de 30. Esto podría ser atribuido al hecho de que el NaOCl reacciona con el tejido orgánico de los conductos radiculares y forma rápidamente burbujas de microgas en la zona terminal apical que terminan formando la burbuja apical (Schoeffel 2008). Como el vapor apical, no puede ser desplazado dentro de un tiempo aceptable en clínica por acciones simples mecánicas, impide llegar al irrigante a la región apical.

Debe ser tenido en cuenta que este fenómeno es aplicable a la irrigación por presión positiva, y no puede ser extrapolado a otros sistemas como los sónicos, ultrasónicos o los

mecanismos de irrigación-aspiración negativa ya que tienen un potencial de generar fuerzas mayores de irrigación (Tay 2010).



Fig. 11.- Fenómeno de la burbuja apical o "vapor lock".

2.10.- Láser:

2.10.1.- Introducción láser

Láser es el acrónimo en inglés de "light amplification by stimulated emission of radiation" o lo que es lo mismo, luz amplificada por la emisión estimulada de radiación. En el año 1917, Albert Einstein expone la base teórica del láser y describe de forma empírica su propiedades físicas con la teoría de la emisión estimulada.

Fue la hipótesis de los "cuantos" de Planck en 1900 la que permitió a Albert Einstein establecer la teoría de que las radiaciones electromagnéticas (la luz visible entre ellas), no

se propagan en ondas continuas, sino formando "paquetes" de ondas. Los átomos excitados emiten o absorben energía en cantidades definidas como "cuantos" o fotones. Por tanto, según Einstein, estos no son sólo "paquetes de energía", sino que son al mismo tiempo masa. Relacionando ambas, obtenemos la ecuación E (energía) = m (masa de la partícula en reposo) $\times c^2$ (velocidad de la luz). Una vez aplicadas todas estas teorías de Planck y Einstein, Townes y Schawlow establecieron los principios básicos del láser, lo que condujo a Maiman a la fabricación del primer láser visible en 1960. Theodore Maiman construye el primer aparato emisor de luz láser de la historia usando como medio activo un rubí sintético (Maiman 1960). Y en 1960 Ali Javan y colaboradores, consiguieron una emisión de láser de forma continua al excitar una mezcla de gases de Helio-Neón mediante un campo de alta frecuencia (Javan 1961). Tras esto, han surgido una gran variedad de láser tanto por sus funciones como por sus componentes.

El láser ha supuesto un gran desarrollo dentro del campo de la medicina, posibilitando grandes cambios terapéuticos y quirúrgicos. L'Esperance fue el primero en emplear el láser de Argón en Oftalmología (L'Esperance 1968) y a partir de este tratamiento las utilidades clínicas se han ido multiplicando con el paso de los años.

En el ámbito odontológico se ha estudiado el láser desde sus comienzos. Ya en el año 1964, se publica en el Journal of Dental Research un artículo sobre el efecto del láser sobre el esmalte y la dentina dental (Stern 1964). Sin embargo, no es hasta 1990 cuando comienza realmente el empleo de láser en odontología, este fue un láser Nd:YAG (neodimio) que se empleaba para cirugía de tejidos blando y que fue reconocido como el primer láser diseñado específicamente para uso odontológico (Myers 1989). En estos días, la tecnología láser avanza con gran rapidez y en estos momentos disponemos láseres de Ho:YAG, Er:YAG, Nd:YAG, Cr:SIG, CO₂ y láseres de diodo; pudiendo ampliar la gama de

indicaciones y aplicaciones terapéuticas. En nuestros días ya podemos emplear el láser para muchas aplicaciones terapéuticas odontológicas: cirugía de tejidos blandos, periodontal, implantología, blanqueamiento dental, endodoncia, etc (Sulewski 2000).

2.10.2.- Láser de diodo

El láser de diodo emplea una combinación de Aluminio, Arsénico y Galio con el fin de transformar la energía eléctrica en lumínica, trabajando como un diodo eléctrico. Este tipo de láser es un semiconductor en estado sólido, en el que el medio activo del diodo es una amalgama de materiales semiconductores. En estos materiales semiconductores, la energía se libera en forma de calor; pero en materiales como el Galio, Aluminio y el Arsenio, la energía es liberada en forma de fotones. El láser necesita además una superficie reflectante para estabilizar la cavidad óptica, siendo esta muy pequeña (0.05 x 0.15 mm). Sin embargo, a pesar de esta pequeña dimensión, un láser de este tipo puede producir muchos vatios de potencia.

Las longitudes de onda, para su uso en odontología, oscilan entre 800 y 980 nm, situándose al principio de la porción de la radiación invisible infrarroja no ionizante del espectro electromagnético. Los láser de diodo actuales son variantes de Aluminio, Galio, Arsenio y emiten cerca del espectro infrarrojo (longitudes de onda de 700 a 940 nm) o de láser de Indio, Galio, Arsenio, Fósforo, que emiten en la porción roja del espectro visible (600 a 680 nm). En base a su potencia, podemos clasificar los láser de diodo en dos grupos (Larrea-Oyarbide 2004):

- Láseres de baja potencia (o láseres blancos): 600 - 830 nm, con una potencia de 1-100 mW. Siendo sus principales aplicaciones clínicas el efecto bioestimulador y su efecto analgésico antiinflamatorio.

- Láseres de diodo de alta potencia: 810-980 nm y unas potencias de 1-15W o incluso mayores. Teniendo numerosas aplicaciones odontológicas: cirugía de tejidos blandos, tratamientos periodontales, implantología, blanqueamiento dental, endodoncia, etc.

El gran riesgo del láser en la clínica odontológica es la posibilidad existente de producir daños en la retina tanto del paciente como del profesional. Por este motivo, es obligatorio el empleo de gafas protectoras tanto para el paciente como para el personal sanitario, así como el uso de instrumental no pulido o plástico para evitar la reflexión del haz de luz.

2.10.2a.- Aplicaciones clínicas del láser de diodo

En primer lugar se puede emplear para intervenciones quirúrgicas orales (representando una alternativa viable al bisturí). Entre las ventajas en este campo incluimos: aumento de la coagulación (lo que permite un campo seco y una mejor visualización), esterilización de la superficie tisular y por tanto, una disminución de la bacteriemia, una menor inflamación y edema, menor dolor, mayor rapidez de curación y una mayor aceptación por los pacientes (Sarver 2005).

Este láser, también es empleado ampliamente en el mundo de la periodoncia (ha sido aprobado para prácticamente todos los procedimientos de tejidos blandos realizados con láseres de Nd:YAG y de CO₂) pues es útil para la excisión de tejidos y para la reducción de carga bacteriana presente en las bolsas periodontales (Moritz 1998). También está

indicado en la sección y coagulación de la encía y de la mucosa oral, para el legrado de tejidos blandos y para la limpieza sulcular como coadyuvante al raspaje y alisado radicular. El láser también es empleado en el tratamiento de la periodontitis, ya que sus efectos térmicos y fotodinámicos contribuyen a la eliminación de los microorganismos patógenos periodontales.

El láser de diodo es también utilizado para los procedimientos de blanqueamiento en la clínica dental (Wetter 2004). La luz del láser de diodo activa el gel de blanqueamiento dental (peróxido de hidrógeno, carbamida o perborato de sodio) provocando su descomposición química y acelerando su penetración en el esmalte. Sin embargo, clínicamente no se obtienen mejores resultados estéticos, si no que lo que se consigue es una disminución en el tiempo de tratamiento.

Otra posible aplicación clínica del láser de diodo es el tratamiento de la hipersensibilidad dentinaria (Kimura 2000). Según los trabajos realizados empleando el láser GaAlAs de 830 nm (Wakabayashi 1993), su efecto se debe a un bloqueo en las fibras C aferentes.

Por último también se ha estudiado en el campo de la endodoncia, como describiremos en el punto siguiente.

2.10.3.- Láser en endodoncia

La aplicación del Láser de diodo para el tratamiento de conductos radiculares es una práctica cada vez más habitual entre los profesionales de la odontología moderna. Su pequeño tamaño, facilidad de manejo y menor costo, han hecho que se trate de una

herramienta común en las clínicas odontológicas de hoy en día. Es ya un hecho demostrado por la literatura, que el uso del Láser de diodo puede conseguir disminuir la carga bacteriana en conductos radiculares así como la resolución de procesos patológicos apicales (Mohammadi 2009).

La irradiación con láser en los tratamientos endodóncicos ha sido introducida por su efecto bactericida (Goldman 1964). Los láser causan una disminución en el número de bacterias en modelos diferentes: dientes extraídos infectados, tubos capilares, etc (Moshonov 1995, Fegan 1995, Gutknecht 1996, Ramskold 1997, Moritz 1997). Sin embargo, aunque la mayor parte de los estudios demostraron que los diferentes tipos de láser tienen un efecto antibacteriano, no producían una esterilización total (Moshonov 1995, Blum 1997, Le Goff 1999, Mehl 1999).

La bibliografía actual es muy confusa, por lo que numerosos clínicos son todavía reacios para emplearlo en la desinfección del sistema de conductos. Sin embargo, este campo parece ser uno de los posibles pilares de los nuevos mecanismos de la desinfección en endodoncia del futuro. Se ha avanzado mucho en el ámbito de la instrumentación en endodoncia, pero en cuanto a la desinfección, seguimos empleando los mismos irrigantes que desde hace décadas.



Fig. 12.- Láser de diodo.

2.11.- Otros mecanismos de desinfección y limpieza

La irrigación empleando agua activada electroquímicamente (Solovyeva 2000) o la infiltración de gas de ozono (Solovyeva 2000), son algunas nuevas ideas para tratar de mejorar la limpieza del sistema de conductos. Sin embargo, en términos de reducción bacteriana en biofilms, hay evidencia científica que demuestra que de momento ninguno de estos puede reemplazar al hipoclorito de sodio (Gulabivala 2004, Hems 2005).

3

*Hipótesis de
trabajo y
objetivos*

3.- Hipótesis de trabajo y objetivos

Hipótesis de trabajo:

El empleo de nuevos mecanismos de desinfección y limpieza dentro del campo endodóncico ha supuesto un gran avance mejorar la calidad de nuestros tratamientos en los últimos años.

Muchos dispositivos han sido diseñados para mejorar la limpieza del sistema de conductos radiculares ya que se ha demostrado que la agitación de los irrigantes mejora la efectividad de estos (Moorer 1982). Varios mecanismos de agitación manual y ayudado por máquinas han sido desarrollados (Gu 2009). La irrigación ultrasónica continua ha mostrado producir una mayor limpieza de los conductos e istmos (Gutarts 2005, Carver 2007, Brunson 2010), sin embargo, esta debe ser empleada con mucho cuidado ya que

puede producir accidentes de procedimiento como: transporte del conducto, zips, perforaciones o crear irregularidades en el conducto preparado, especialmente en conductos curvos (Lumley 1992, Lee 2004, Walmsley 1991).

Otro aspecto importante para la eficacia en la limpieza del sistema de conductos es el volumen de irrigante que aplicamos. Sedgley et Al (Sedgley 2005) mostraron que un aumento en el volumen del irrigante aplicado, reduce significativamente la cantidad de bacterias remanentes.

Un sistema recientemente introducido, el ProUltra PiezoFlow (ProUltra; Dentsply, Tulsa, OK) activa ultrasónicamente un flujo continuo de irrigante. El ProUltra PiezoFlow está formado por una aguja de irrigación que activa el irrigante ultrasónicamente cuando este fluye por la misma, de tal manera que el irrigante ya sale activado de la aguja.

El ProUltra PiezoFlow podría mejorar la limpieza del sistema de conductos cuando es comparado con otros mecanismos de agitación del irrigante debido a esta capacidad de enviar el mismo ultrasónicamente activado. En base a todo esto, nos preguntamos si este mecanismo será realmente superior a otros, por lo que esta será nuestra primera hipótesis de trabajo.

Después de la preparación químico-mecánica y de posibles medicaciones intraconducto, incluso cuando se ha seguido el protocolo clínico de más alto nivel técnico, el sistema de conductos radiculares puede presentar restos de tejido pulpar (Foschi 2004) y biofilms microbianos residuales (Zehnder 2006).

Los enterococos son la especie bacteriana que con más frecuencia se aíslan en el diente con infección persistente tras el tratamiento endodóncico de la raíz (Sedgley 2004). Diferentes exámenes bacteriológicos han demostrado que el *E. Faecalis* está presente en el 30-48% de dientes con infección post-tratamiento (Mejare 1975, Molander 1998). Estos hallazgos destacan la capacidad del *E. Faecalis* para sobrevivir en unas condiciones ambientales muy complicadas, como el medio del canal radicular tras un tratamiento endodóncico (Sundqvist 1998, Hancock 2001). El crecimiento microbiano como biofilm es un proceso adaptable que permite a los microorganismos sobrevivir en condiciones de crecimiento límites (Portenier 2003). La habilidad del *E. Faecalis* para formar un biofilm calcificado en la dentina del canal radicular puede ser un factor que contribuya a la persistencia del mismo después del tratamiento endodóncico (Costerton 1994). Los rasgos estructurales del biofilm permiten la transferencia eficiente de sustancias nutritivas, eliminación de materiales de deshecho, y circulación de metabolitos secundarios, feromonas y un importante incremento de la resistencia a los antibióticos (en algunos casos aumentando incluso 1500 veces la CMI) (Karthikeyan 2001, Gordon 1988, Kishen 2006).

Muchos mecanismos de desinfección alternativos a la metodología estándar en endodoncia han sido explorados. El potencial del ozono (una forma muy reactiva de oxígeno que es generando cuando pasa este a través de un alto voltaje) como agente antibacteriano en infecciones endodóncicas ha sido recientemente explorado. Nagayoshi et al. (Nagayoshi 2004) describieron que el agua ozonada tenía la misma actividad que 2.5% de hipoclorito de sodio sobre biofilms de *E. Faecalis* creados en dentina. Sin embargo, estos datos no están de acuerdo con aquellos obtenidos por Hems et al. (Hems 2005) y Estela et al. (Estela 2007) que reportaron que el uso de agua ozonada no era suficiente para inactivar el *E. Faecalis*. El empleo de láseres es también un nuevo intento de tratar

de eliminar los microorganismos del sistema de conductos (Kimura 2000). La función de estos depende la dosis de los mismo, que al mismo tiempo va a producir un calor. Este calor puede producir la anquilosis de las raíces, que se derrita el cemento, reabsorciones radiculares o necrosis periapicales entre otras (Bahcall 1993, Hardee 1994, Ramsköld 1997). Sin embargo la ventaja que ofrece el láser de diodo es que es seguro pues las elevaciones de temperatura son inferiores a 10°C (da Costa 2007, Alfredo 2008. Wang 2005, Moritz 1997)

Diversos estudios de la literatura que comparan la desinfección de los túbulos dentinarios, canal radicular y tejidos periodontales mediante el tratamiento convencional y láser concluyen que se obtiene una desinfección mayor usando el láser (de Souza 2008, Fimple 2008, España 2004).

Por tanto Nuestra segunda hipótesis de trabajo se basará en buscar el potencial bactericida del láser de diodo en el sistema de conductos radiculares. Para ello crearemos un sistema in vitro, en donde crearemos biofilms maduros de *E. Faecalis*.

Objetivos:

Este trabajo de investigación pretende demostrar la utilidad clínica algunos de los nuevos mecanismos de desinfección y limpieza del sistema de conductos radiculares y que se resumen en los siguientes puntos fundamentales:

Primero

Comparar los efectos de tres sistemas de entrega del irrigante (irrigación por presión positiva, irrigación ultrasónica pasiva e irrigación ultrasónica continua), en cuando a su llegada a longitud de trabajo y en conductos laterales simulados en dientes diafanizados.

Segundo

Comprobar la eficacia bactericida del láser de diodo frente a biofilms maduros de *E. Faecalis* comparada con la observada con el hipoclorito de sodio.

Tercero

Estudiar la posibilidad de un efecto sinérgico combinado de ambos tratamientos (hipoclorito de sodio y láser de diodo).

4

*Material y
métodos*

4.- Material y

métodos

En la **primera parte** del estudio vamos a comparar *in vitro* la irrigación ultrasónica pasiva y continua en conductos laterales simulados en 60 dientes extraídos.

Preparación de las muestras dentales

En esta parte del estudio se utilizaron 60 dientes monorradiculares humanos extraídos con los ápices completamente formados (incisivos centrales y laterales maxilares con una morfología similar) que no habían sido tratados endodóncicamente previamente. Después de limpiar la superficie radicular, los dientes fueron introducidos en hipoclorito de sodio al 5% (Niclór 5; OGNA, Muggiò, Italy) durante una hora y después se guardaron en solución salina a 5°C hasta su preparación. La presencia de un solo conducto fue verificada mediante una exploración directa con microscopio y radiográficamente. El mismo operador realizó todo el procedimiento del experimento. Cada diente fue seccionado para obtener una longitud de trabajo de 16 mm. La longitud de trabajo fue establecida bajo observación microscópica (M525 F40; Leica, Heerbrugg, Switzerland) a

una magnificación de 10x, visualizando la punta del instrumento por el foramen apical. En cada conducto radicular fue realizado un preflaring usando las limas K-Flexofiles (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) hasta un #20 y posteriormente el conducto fue preparado con la secuencia S1-S2-F1-F2-F3 (Dentsply Maillefer). La irrigación fue realizada con una jeringa 30-gauge (ProRinse; Dentsply Tulsa Dental Specialities, Tulsa, OK, USA) empleando 3ml de hipoclorito de sodio al 5% a 50°C después de cada lima. Las jeringas fueron llevadas de forma pasiva a 2 mm de la longitud de trabajo y la cantidad de irrigante empleada fue de 3ml/minuto. El tiempo total de irrigación fue de 10 minutos por cada diente. Después de la instrumentación, todos los dientes fueron limpiados con EDTA al 10%, fueron empleados 3ml en 3 minutos, seguidos de una irrigación final con hipoclorito de sodio al 5%. Después del secado del conducto con puntas de papel, las raíces fueron observadas bajo el microscopio clínico a 10x para verificar la ausencia de cracks y que el conducto radicular estaba limpio.

Después de completar el proceso de instrumentación y limpieza, los dientes fueron diafanizados empleando la técnica descrita por Robertson y Leeb (Robertson y Leeb 1982) y preparados siguiendo el protocolo descrito por Gregorio et al. (de Gregorio 2010). Brevemente, los dientes fueron sumergidos en ácido cítrico al 5% durante 36 horas, cambiando el mismo cada 8 horas. Una vez descalcificados, los dientes fueron aclarados en agua destilada durante 3 minutos y los conductos laterales fueron creados introduciendo una lima C plus de 06 (Dentsply Maillefer) de la parte bucal a la lingual a 2, 4 y 6 mm de la longitud de trabajo, perpendicular a la superficie externa. Las muestras fueron deshidratadas en concentraciones ascendentes de alcohol etílico para ser sumergidas posteriormente en salicilato de metilo al 99.9% para transparentizar y reendurecer los tejidos dentarios como fue descrito por de Gregorio et. al. (de Gregorio

2010). Un total de 360 conductos laterales fueron creados (6 conductos en cada diente, con dos conductos laterales a cada nivel).

Para asemejarnos a la situación clínica, un sistema de conductos cerrados fue creado cubriendo cada raíz con cera de modelado (Cera Reus SA, Reus, Spain). Esta cera cubría el foramen apical y los conductos laterales a los tres niveles. Durante este procedimiento, una punta de gutapercha F3 (Dentsply Maillefer) fue introducida en el conducto radicular hasta la longitud de trabajo para evitar la penetración de la cera en el espacio del conducto radicular.

Solución de contraste

Se preparó una solución de contraste que contenía el 80% de hipoclorito de sodio y el 20% de tinta china (Sanford Rotring GmbH, Hamburg, Germany) y llevada a las muestras preparadas.

Grupos experimentales

La irrigación se llevó a cabo en los grupos PPI (irrigación por presión positiva) y PUI (irrigación pasiva ultrasónica) empleando pequeñas modificaciones de los métodos descritos por de Gregorio et al. (de Gregorio 2010) en una investigación similar. La irrigación fue realizada en el grupo CUI con una pequeña modificación a las recomendaciones del fabricante. El tiempo de irrigación fue el mismo para los tres grupos (1 minuto). Todos los procedimientos fueron realizados bajo el microscopio clínico operatorio. Los detalles de la secuencia de irrigación son presentados a continuación.

Grupo 1 (n = 20): Irrigación por presión positiva (control) (PPI).

Los dientes en el grupo 1 fueron irrigados durante un minuto empleando una jeringa 30-gauge ProRinse con la punta de la jeringa a 2 mm de la longitud de trabajo. Un volumen total de 6 ml de la solución de contraste se empleó en este procedimiento. La solución no fue dinámicamente activada en este grupo.

Grupo 2 (n = 20): Irrigación pasiva ultrasónica (PUI).

Fue llevada al conducto un volumen total de 2 ml de la solución de contraste empleando una jeringa 30-gauge ProRinse a los conductos radiculares. La activación ultrasónica fue realizada con una lima ultrasónica ISO 15 (Irri-Safe; Satelec, Acteón Group, Merignac Cedex, France) montada en una unidad ultrasónica Suprasson P5 Booster (Satelec, Acteón Group). La lima fue llevada de forma pasiva hasta 1 mm de la longitud de trabajo y fue activada a una potencia de 6, según las recomendaciones del fabricante. El procedimiento se repitió tres veces, con un volumen total de 6 ml de la solución de contraste y un tiempo total de activación de un minuto por cada diente.

Grupo 3 (n = 20): Irrigación ultrasónica continua (CUI).

La activación ultrasónica fue realizada empleando la aguja del ProUltra PiezoFlow montado en la unidad ultrasónica Suprasson P% Booster. Una jeringa de 10 ml que contenía la solución de contraste fue conectada a la cánula unida a la unidad ultrasónica. La longitud a la cual se llevó la punta de la aguja nunca superó el 75% de la longitud de trabajo establecida en la instrumentación. Se llevó la aguja de forma inactiva al conducto y se entregó la solución de contraste. Una vez que el irrigante llenó el conducto, se activó la unidad ultrasónica con una potencia de 6. Se mantuvo un flujo continuo de irrigación de 6 ml/minuto, siendo la punta ultrasónica activa movida suavemente hacia arriba y abajo en un trazado lineal desde la entrada del conducto hasta el stop del tope de goma

preestablecido. El tiempo total de activación fue de 1 minuto, y el volumen total de la solución de contraste empleada fue de 6 ml.

Criterio de evaluación

El criterio descrito por de Gregorio et al. (de Gregorio 2010) fue empleado en este estudio. Las muestras fueron observadas sobre imágenes tomadas con el microscopio dental operatorio. La orientación de todas las muestras fue estandarizada para producir imágenes similares en todos los grupos.

La penetración de la solución de contraste fue puntuada según el número de conductos laterales (0-2) donde la solución de contraste penetró al menos en el 50% de la longitud total. El resultado fue evaluado en cada diente en cada una de las tres longitudes de trabajo (2, 4 y 6 mm). Un evaluador especializado analizó todas las muestras de los tres grupos de forma ciega.

Análisis estadístico

El test de Mann-Whitney fue empleado para analizar y comparar la penetración del irrigante hasta longitud de trabajo y en los conductos laterales. Valores-P <0.05 fueron considerados como indicadores de diferencia estadísticamente significativa.

En la **segunda parte** del estudio vamos a evaluar bacteriológicamente el efecto del láser de diodo de 940 nm contra biofilms maduros de *Enterococos Faecalis* in vitro.

Preparación de las muestras dentales

En este estudio se utilizaron 64 dientes monorradiculares humanos con los ápices completamente formados (incisivos centrales con una morfología similar) que no habían

sido tratados endodómicamente previamente. Después de limpiar la superficie radicular, los dientes fueron introducidos en hipoclorito de sodio al 5% (Nicolor 5; OGNA, Muggiò, Italy) durante una hora y después se guardaron en solución salina hasta su preparación. La presencia de un solo conducto fue verificada mediante una exploración directa y radiográficamente. El mismo operador realizó todo el procedimiento del experimento. Cada diente fue seccionado para obtener una longitud de trabajo de 16 mm. La longitud de trabajo fue establecida bajo observación microscópica (M525 F40; Leica, Heerbrugg, Switzerland) a una magnificación de 10x, visualizando la punta del instrumento por el foramen apical. En cada conducto radicular fue realizado un preflaring usando las limas K-Flexofiles (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) hasta un #20 y posteriormente el conducto fue preparado con la secuencia S1-S2-F1-F2-F3 (Dentsply Maillefer). La irrigación fue realizada con una jeringa 30-gauge (ProRinse; Dentsply Tulsa Dental Specialities, Tulsa, OK, USA) empleando 3ml de hipoclorito de sodio al 5.25% a 50°C después de cada lima. Las jeringas fueron llevadas de forma pasiva a 2 mm de la longitud de trabajo y la cantidad de irrigante empleada fue de 3ml/minuto. El tiempo total de irrigación fue de 10 minutos por cada diente. Después de la instrumentación, todos los dientes fueron limpiados con EDTA al 10%, fueron empleados 3ml en 3 minutos, seguidos de una irrigación final con hipoclorito de sodio al 5% activando ambas soluciones con una punta ultrasónica por 30 segundos (Irri-Safe; Satelec, Acteón Group, Merignac Cedex, France). Se realizó un lavado final con agua destilada. Después del secado del conducto con puntas de papel, las raíces fueron observadas bajo el microscopio clínico a 10x para verificar la ausencia de cracks y que el conducto radicular estaba limpio. Tras completar la fase de preparación del conducto radicular, el foramen apical fue sellado empleando un composite fotopolimerizable (CeramX Duo, Dentsply-Friadent, Roskilde, Denmark). Cada muestra fue llevada a un tubo plástico (Cryo. S, PP Greiner Bio-One GmbH., Frickenhausen, Germany) que contenía BHI (Brain Heart Infusion; Merck KGaA, Darmstadt, Germany) y autoclavado

a 121°C por 20 minutos. Las muestras fueron incubadas durante 48 horas a 37°C, observando cada día si existían signos de turbidez.

Infección dental

Las cepas de *E. Faecalis* ATCC 29212 se obtuvieron de la Colección española de Cultivos Tipo (CECT). Se empleó un cultivo puro de *E. Faecalis*(ATCC 29212) en BHI para la inoculación y posterior infección de los dientes. La suspensión bacteriana fue ajustada con un espectrofotómetro a 0.5 en la escala McFarland. 20 µl de alicuotas de la suspensión se introdujeron en cada conducto, tras esto, los conductos fueron coronalmente sellados con Cavit (3M ESPE, Seefeld, Germany) e incubados dos semanas en condiciones aerobias a 37°C en tubos Falcon (Eurolab, Barcelona, Spain) con 5ml de BHI, cambiando dicho medio cada 3 días.

Microcopia electrónica

Cuatro muestras fueron seleccionadas para microcopia electrónica (SEM) con el objetivo de confirmar la infección y formación de biofilm. Cada muestra fue dividida en dos partes y fijada en 5 ml de 3.7% glutaraldehído en 0.2 M de solución de cacodilato de sodio a 4°C durante 24 horas. Tras la deshidratación de las muestras en concentraciones ascendentes de etanol, las muestras fueron metalizadas con oro y observadas con un microscopio electrónico (JEOL Corporation, Tokyo, Japan). Las microfotografías se obtuvieron a diferentes magnificaciones en áreas representativas del sistema de conductos radiculares.

Procesamiento de los dientes infectados

Antes de manipular las muestras, la superficie externa de los mismos fue desinfectada con una toalla de clorhexidina por 3 minutos y después las muestras se

introdujeron en agua destilada estéril por otros dos minutos. Tras esto, eliminamos el sellado provisional y previo a la introducción del tratamiento respectivo con láser, hipoclorito u ambos, confirmamos la infección de cada muestra. Para ello, se introdujeron dos puntas de papel estériles en las muestras y posteriormente se incubaron en 5ml de BHI a 37°C. Tras 24 horas, la infección fue confirmada por turbidimetría (Dinko D-101, Barcelona, Spain; a 590 nm de longitud de onda) y recuento de CFU. Brevemente, tras la disolución seriada en solución salina, alíquotas de 0.1ml fueron cultivadas en agar e incubadas a 37°C durante 48 horas. Se contaron las unidades formadoras de colonias (CFUs) de las placas de agar y se hicieron los valores adecuados basándonos en los factores de dilución. Todas las muestras mostraban infección a las 48 horas.

Grupos experimentales

Grupo A (n = 20): láser de diodo

El tratamiento con el láser de diodo (Ezlase 940, Biolase, San Clemente, California, USA) fue llevado a cabo con la punta endodóncica (ezTip Endo, 14 mm / 200 µm), a una longitud de onda de 940 nm y a una potencia de 3.5 W empleando una duración de intensidad de 0.05 ms y un intervalo de pulso de 0.5 ms. La irradiación con el láser fue llevada en el conducto a 1 mm de la longitud de trabajo, realizando movimientos circulares de la parte apical del conducto a coronal (técnica step-back) sin spray de agua o aire. Tras esto, las muestras fueron selladas coronalmente con Cavit (3M ESPE, Seefeld, Germany). Finalmente, las muestras fueron incubadas en condiciones aerobias a 37°C en tubos falcon con 5ml de BHI.

Grupo B (n = 20): Hipoclorito de sodio

Las muestras fueron irrigadas con 5ml de hipoclorito de sodio al 5% por 1 minuto. La irrigación fue realizada con una jeringa de 30 (ProRinse; Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK, USA). Las jeringas de irrigación fueron introducidas pasivamente a 2 mm de la longitud de trabajo. Tras esto, las muestras fueron selladas coronalmente e incubadas de forma similar al grupo A.

Grupo C (n = 20): Hipoclorito de sodio y láser

Se realizó un protocolo similar de irrigación al grupo B. Tras la irrigación, se aplicó el láser de forma similar al grupo A. Tras ello, los dientes fueron sellados y coronados de forma similar a los grupos A/B.

Recuento del número de bacterias

Tras la aplicación del láser, hipoclorito o ambos, las muestras fueron procesadas a dos intervalos de tiempo, a las 24 horas y a los 7 días. Tras abrir el diente, se llevó solución salina estéril al mismo. La toma de muestra de dentro de los conductos fue hecha empleando un instrumento #25 K-File (Dentsply, Maillefer), estéril. Se realizaron movimientos circunferenciales durante 20 segundos para recoger muestras de dentina. Tras esto, se emplearon dos puntas de papel estériles para recoger esta solución salina del conducto. Las puntas de papel estériles y las limas K se introdujeron en un tubo Falcon que contenía 4ml de BHI estéril y se le dio vortex durante 1 minuto.

Tras 24 horas, el crecimiento bacteriano fue confirmado por turbidimetría y posterior recuento de CFU. Tras la toma de muestra, los especímenes volvieron a ser sellados con

Cavit e incubados en BHI durante 7 días. Tras este tiempo, se volvió a realizar el procedimiento descrito anteriormente. Las CFUs fueron contabilizadas de la misma manera que fue descrita en procesamiento del diente infectado. Se confirmó que las colonias eran *E. faecalis* por morfología de la colonia, tinción gram y PCR.

Análisis estadístico

Los datos cuantitativos son expresados en mediana, Percentil 25, Percentil 75 y rango. Las comparaciones de los valores CFU entre los grupos fueron analizados según los test de Kruskal-Wallis y Chi-square con la corrección de Bonferroni. Valores $P < 0.05$ fueron considerados estadísticamente significativos. El análisis fue realizado con el programa SPSS.



5

Resultados

5.- Resultados

Vamos a enumerar en primer lugar los resultados obtenidos en la **primera parte** del estudio, donde comparamos *in vitro* la irrigación ultrasónica pasiva y continua en conductos laterales simulados en 60 dientes extraídos.

El flujo de irrigante hasta longitud de trabajo del conducto radicular y en los conductos laterales fue analizado para todas las muestras (n = 20) de cada grupo. Tres muestras representativas de cada grupo son mostradas en la figuras 1, 2 y 3.

En el grupo 1 (PPI; control), la solución de contraste no alcanzó la longitud de trabajo en ninguna muestra (0%). Sin embargo en el grupo 2 (PUI), la solución de contraste alcanzó la longitud de trabajo en el 70% de las muestras y en el grupo 3 (CUI), esta lo hizo en el 80% de las muestras (figura 2). Existe una diferencia estadísticamente significativa en cuanto a la penetración en el grupo 1 con respecto a los otros dos grupos ($P < 0.001$), sin embargo, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos 2 y 3 (tabla 1).

La penetración total en los conductos laterales fue del 0% en el grupo 1 (PPI), del 30% en el grupo 2 (PUI) y del 67% en el grupo 3 (CUI; tabla 1). Estos valores difieren de forma significativa entre los tres grupos ($P < 0.001$). Los resultados fueron confirmados en

un análisis de los tres niveles (2, 4 y 6 mm), con una significativa menor penetración del grupo 1 frente a los otros dos ($P = 0.043$, $P < 0.001$, $P = 0.017$, respectivamente; Fig. 2, Tab. 1).

	Grupo 1: PPI	Grupo 2: PUI	Grupo 3: CUI	P
Muestras que alcanzan la longitud de trabajo, n (%)	0 (0%)	14 (70%)	16 (80%)	<0.001
Conductos penetrados, n (%)				
Total	0 (0%)	36 (30%)	81 (67%)	<0.001
6 mm	0 (0%)	15 (37.5%)	28 (70%)	0.017
4 mm	0 (0%)	8 (20%)	28 (70%)	0.001
2 mm	0 (0%)	13 (32.5%)	25 (62.5%)	0.043
No. de conductos penetrados, media (% total de conductos penetrados)	0	0.3	0.675	<0.001
Desviación estándar	0	0.04	0.04	

Tabla 1



Figura 1.- PPI

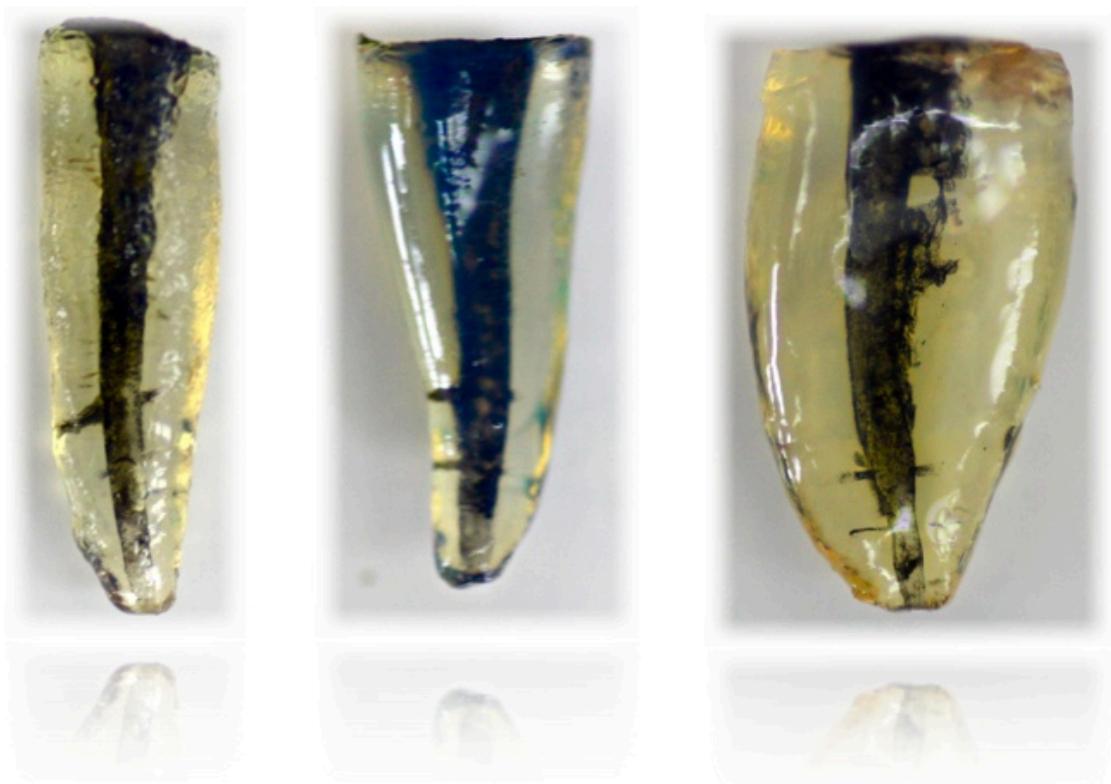


Figura 2.- PUI



Figura 3.- CUI

Vamos a enumerar ahora los resultados obtenidos en la **segunda parte** del estudio, donde evaluamos bacteriológicamente el efecto del láser de diodo de 940nm contra biofilms maduros de *E. Faecalis* in vitro.

Todas las muestras de los tres grupos mostraban crecimiento bacteriano previo al tratamiento. No existía una diferencia estadísticamente significativa entre los tres grupos $P=0.210$. El recuento de CFUs previo al tratamiento (basal), a las 24 horas y a los 7 días se muestra en las tablas 1, 2 y 3. En la imagen 1, podemos observar la incubación de las CFUs en estufa.

	CFU's basal (x 10 ⁷)	CFU's (x 10 ⁷)	CFU's (x 10 ⁷)
		24 horas	7 días
1	280	0	104
2	48	0	0
3	114	17	76
4	147	0	0
5	66	0	32
6	15	0	0
7	156	0	76
8	134	0	17
9	210	11	142
10	147	0	45
11	108	22	79
12	12	0	0
13	58	0	44
14	87	0	67
15	278	167	230
16	45	0	0
17	4	0	0
18	93	20	89
19	55	0	12
20	233	35	78

Tabla 1: Láser de diodo.

	CFU 'S basal (x 10 ⁷)	CFU 's (x 10 ⁷)	CFU 's (x 10 ⁷)
		24 horas	7 días
1	238	0	0
2	145	0	0
3	227	0	0
4	45	0	0
5	89	0	0
6	57	0	0
7	305	0	120
8	60	0	0
9	89	0	0
10	98	0	0
11	140	0	160
12	238	0	0
13	74	264	232
14	59	0	0
15	161	0	136
16	42	0	0
17	203	0	0
18	145	0	0
19	178	0	0
20	58	0	0

Tabla 2: Hipoclorito de sodio.

	CFU 's basal (x 10 ⁷)	CFU 's (x 10 ⁷)	CFU 's (x 10 ⁷)
		24 horas	7 días
1	234	0	0
2	45	0	0
3	214	0	0
4	189	0	120
5	172	0	0
6	98	0	0
7	201	0	0
8	129	0	0
9	317	0	0
10	128	0	0
11	241	0	0
12	111	0	136
13	74	0	0
14	156	0	0
15	154	0	0
16	122	0	0
17	248	0	0
18	142	0	0
19	79	0	0
20	48	0	0

Tabla 3: Hipoclorito de sodio y láser de diodo.

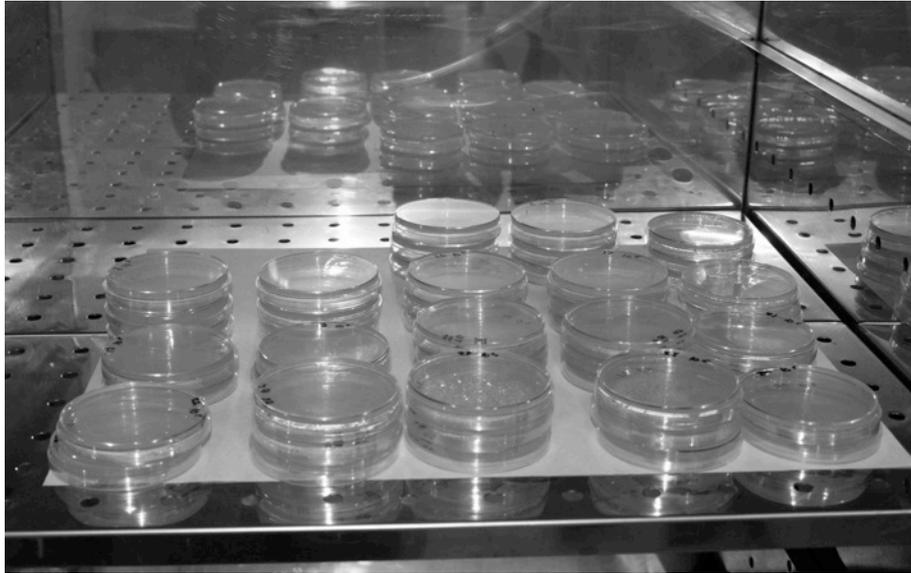


Figura 1: Incubación CFUs.

A las 24 horas, para el grupo de láser, se observaba crecimiento bacteriano en el 30% de los dientes, con un rango entre 11×10^7 a 167×10^7 . Para el grupo de NaOCl, se observaba crecimiento bacteriano solamente en una muestra, con un valor de 264×10^7 . Mientras que para el grupo 3 no se observaba crecimiento bacteriano a las 24 horas. Existe una diferencia estadísticamente significativa entre el grupo 1 y el grupo 3 a las 24 horas ($P=0,002$). Sin embargo, no se observan diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de 2 y 3 ($P=1$) ni entre 1 y 2 ($P=0.091$).

A los 7 días, en el grupo de láser se observaba crecimiento bacteriano en el 70% de las muestras, con un rango de 12×10^7 a 230×10^7 . Por otro lado, en el grupo NaOCl se observó crecimiento bacteriano en el 20% de las muestras, con un rango de 120×10^7 a 232×10^7 . Cuando combinamos el hipoclorito de sodio con el láser solamente observamos un crecimiento bacteriano en el 10 % de las muestras, con unos valores de 120×10^7 y de 136×10^7 . De esta forma a los 7 días, observamos una diferencia estadísticamente

significativa entre el grupo de 1 y 2 ($P=0.04$) y entre el grupo de 1 y 3 ($p=0,000$) pero no observamos diferencias estadísticamente significativas entre los grupos 2 y 3.



6

Discusión

6.- Discusión

Restos residuales del conducto radicular pueden albergar bacterias, las cuales pueden provocar que el tratamiento fracase (Ricucci 2010, Weine 1984, Xu 1984). Una entrega y agitación efectiva del irrigante son prerequisites para una completa limpieza del sistema de conductos y un tratamiento endodóncico exitoso (Gutarts 2005, Vertucci 1984, de Gregorio 2010). Varios estudios han demostrado que la activación ultrasónica del irrigante después de una instrumentación manual y rotatoria puede mejorar la limpieza de los conductos e itsmos (Burleson 2007, Carver 2007). La activación ultrasónica del irrigante es generalmente llevada a cabo tras la instrumentación, insertando de forma pasiva una lima ultrasónica en el irrigante y activando la misma durante aproximadamente un minuto (Burleson 2007, Carver 2007). Sin embargo, la eficacia de la irrigación pasiva ultrasónica depende de la penetración de la lima hasta 1-2 mm de la longitud de trabajo, que es difícil de lograr en conductos curvos y el volumen de la solución activada en este nivel es limitado. Varios estudios han demostrado la eficacia de la utilización de dispositivos ultrasónicos alternativos para la activación de los irrigantes (Gutarts 2005, Burleson 2007).

La irrigación ultrasónica continua se basa principalmente en la activación de una aguja conectada a la unidad ultrasónica mediante energía ultrasónica. La solución de

irrigación se mueve en la aguja a través de una jeringa conectada a la misma y es activada y emitida al mismo tiempo al conducto radicular. Las grandes ventajas de esta técnica son el continuo recambio del irrigante y la capacidad para lograr la activación sin el contacto directo entre la lima ultrasónica y la solución irrigadora. En otras palabras, cuando se introduce el irrigante en el conducto, este ya se envía ultrasónicamente activo, evitando de esta manera la necesidad de insertar la aguja en el tercio apical del conducto radicular (Gutarts 2005, Burleson 2007). Sin embargo, la creación de conductos irregulares tras ser preparados es posible, especialmente en conductos curvos. Tras la demostración de los efectos positivos de la limpieza y desinfección con los primeros prototipos de este instrumento (Gutarts 2005, Burleson 2007), el ProUltra PiezoFlow fue presentado como producto comercial.

En esta investigación *in vitro*, nosotros comparamos la habilidad de dos técnicas ultrasónicas de activación del irrigante (PUI, CUI) con una técnica tradicional (PPI) para llevar al tercio apical conducto una solución de irrigación teñida y a unos conductos laterales artificiales creados en dientes extraídos diafanizados. Para simular con mayor precisión la clínica, empleamos un sistema *in vitro* cerrado, con el fin de asemejar las condiciones *in vivo* (Migun 2002, Usman 2004) en donde el foramen apical está rodeado del hueso alveolar y del ligamento periodontal (Gutarts 2005, Burleson 2007). Clínicamente, este diseño fuerza a los irrigantes a salir coronalmente, en lugar de apical o lateralmente (de Gregorio 2010). Esta limitación física puede explicar las discrepancias en los resultados de estudios previos; algunos artículos han descrito resultados óptimos para el uso de PPI (Khademi 2006, Grandini 2002), mientras que otros han descrito que su eficacia es muy limitada (Usman 2004, O'Connell 2000). Estas diferencias pueden ser debido a la presencia de una burbuja apical creada por la descomposición orgánica del hipoclorito de sodio en dióxido de carbono y amonio (de Gregorio 2010). Tay et al. (Tay

2010) demostró que la presencia de esta burbuja apical afecta negativamente la eficacia de la irrigación con PPI en un sistema de conductos cerrados.

En esta investigación, la solución de contraste no alcanzó el ápice ni ningún conducto lateral a ninguno de los tres niveles para el grupo PPI. Estos resultados están de acuerdo con los obtenidos por de Gregorio et al. (de Gregorio 2010), que empleó un método similar. Nosotros también comparamos las otras dos técnicas ultrasónicas (PUI y CUI) entre ellas y con PPI. Ambas técnicas ultrasónicas producían una buena penetración en la región apical del conducto radicular con ninguna diferencia significativa observada. Estos hallazgos sugieren que ambas técnicas ultrasónicas activan el irrigante con fuerza suficiente para sobrepasar esta burbuja apical.

Los resultados obtenidos en el estudio revelan diferencias significativas entre los dos grupos ultrasónicos en cuanto a la penetración del mismo en los conductos laterales; en el grupo de CUI el irrigante penetró en un número significativamente mayor de conductos laterales. Estos hallazgos pueden ser debidos al continuo cambio de la solución irrigadora y a que esta es enviada activada ultrasónicamente.

Finalmente, ambas técnicas ultrasónicas parecen ser significativamente mejores que PPI, en cuanto a la penetración en los conductos laterales como en la llegada del irrigante al tercio apical. Estos resultados confirman los obtenidos en estudios anteriores, donde se observó una eficacia significativamente mayor de los ultrasonidos frente a PPI (Van der Sluis 2005, Lee 2004, Al-Jadaa 2009).

Por otro lado, el *E. Faecalis* es la especie más frecuentemente asociada con periodontitis apical post-tratamiento. Ha sido ampliamente utilizada como un marcador

microbiológico para estudios in vitro ya que ha demostrado colonizar con éxito el conducto radicular y túbulos dentinarios, formar biofilms y sobrevivir a procedimientos endodóncicos. La cepa utilizada para este estudio colonizó adecuadamente las paredes del conducto radicular después de los 14 días de incubación, formando un biofilm maduro en diversas zonas del conducto radicular, comprobando la existencia de biofilm mediante SEM.

En diversos estudios de la literatura, se compara la desinfección de los túbulos dentinarios, canal radicular y tejidos periodontales mediante el tratamiento convencional y láser concluyen que se obtiene una desinfección mayor usando el láser. Sin embargo, no existe un protocolo para el empleo de láser de diodo en endodoncia como complemento al tratamiento químico-mecánico tradicional. Hay muchas variables que deben tenerse en cuenta a la hora de realizar este protocolo como pueden ser los parámetros de la luz, fotosensibilizadores y las técnicas de entrega de la luz. Para el estudio utilizamos las recomendaciones del fabricante, utilizando el laser a 3.5J de potencia, una longitud de pulso de 0.05ms y una amplitud de 0.20ms. También empleamos la punta especial para el láser del mismo fabricante (ezTip Endo, 14mm / 200 micrómetros). Hemos querido utilizar también el hipoclorito de sodio como coadyuvante para el láser.

A las 24 horas pudimos observar que los tres sistemas reducían la carga bacteriana, siendo el grupo 3 en que obtenía una desinfección mayor (estadísticamente significativa con los otros dos grupos). Esto puede ser debido a no solo a la acción combinada del hipoclorito de sodio y el láser, si no también a la capacidad del láser para calentar el hipoclorito de sodio.

A los 7 días, sin embargo, se observa un gran crecimiento microbiano en el grupo de láser (70% de las muestras presentaban infección). Esto puede ser debido a la complejidad del sistema de conductos y que la luz del láser no puede llegar a todas las zonas con la misma efectividad con la que puede llegar el hipoclorito de sodio. Por otro lado, los grupos 2 y 3 sí que tenían una diferencia estadísticamente significativa con el grupo de láser, observándose una buena capacidad bactericida. La capacidad bactericida parece mejorar en el grupo 3 aunque no existe diferencia estadísticamente significativa con el grupo 2.

Los resultados obtenidos están de acuerdo con los de Lee et cols. que dicen que la desinfección mediante técnicas convencionales reduce las bacterias en un 90%, en cambio si combinamos estas con la aplicación de Láser, se consigue aumentar este porcentaje a un 98%.

Por otro lado podemos decir que se trata de una técnica segura ya que puede inactivar los patógenos endodóncicos sin afectar la viabilidad del osteoblasto. El láser de diodo puede usarse como coadyuvante a la terapia convencional pues estimula la proliferación de los fibroblastos, lo que favorece la curación de lesiones pulpares y periapicales, aunque su efecto contra el *E. Faecalis* es limitado. Con las limitaciones del presente estudio podemos concluir que tras la instrumentación del sistema de conductos radiculares, la aplicación del láser de diodo sobre biofilms maduros de *E. Faecalis* no es efectiva completamente. Sin embargo, la eficacia bactericida se ve potenciada cuando se combina el láser de diodo con el hipoclorito de sodio, tratándose esta de una técnica segura.



7

Conclusiones

7.- Conclusiones

Primera

En cuanto a los efectos de los tres sistemas de entrega del irrigante, la irrigación por presión positiva (PPI) no consigue llegar a la longitud de trabajo, mientras que los dos grupos ultrasónicos sí lo hacen en la mayoría de los casos. Por otro lado, en cuanto la penetración del irrigante en los conductos laterales, la irrigación ultrasónica continua muestra una diferencia significativa mayor frente a los otros dos grupos.

Segunda

La aplicación del láser de diodo sobre biofilms maduros de *E. Faecalis* no es efectiva completamente, se obtiene una desinfección mayor empleando hipoclorito de sodio que el láser de diodo.

Tercera

La eficacia bactericida del hipoclorito de sodio se ve potenciada por el láser de diodo, tratándose esta de una técnica segura.



Σ

Anexos

In Vitro Comparison of Passive and Continuous Ultrasonic Irrigation in Simulated Lateral Canals of Extracted Teeth

Pablo Castelo-Baz, DDS,* Benjamín Martín-Biedma, PhD,* Giuseppe Cantatore, PhD,[†]
Manuel Ruíz-Piñón, MD,* José Babillo, DDS,* Berta Rivas-Mundiña, MD,*
and Purificación Varela-Patiño, PhD*

Abstract

Introduction: Complete endodontic system disinfection requires the removal of vital and necrotic pulp tissue, microorganisms, and toxins. The purpose of this study was to compare the effects of 2 ultrasonic irrigation techniques on the penetration of sodium hypochlorite into the main canal and simulated lateral canals of extracted teeth. **Methods:** Two simulated lateral canals each were created 2, 4, and 6 mm from the working length in 60 single-rooted teeth (6 canals/tooth, n = 360). To resemble the clinical situation, a closed system was created in each tooth. The teeth were randomly assigned to 3 experimental irrigation groups: group 1 (n = 20), positive pressure irrigation (PPI); group 2 (n = 20), passive ultrasonic irrigation (PUI); and group 3 (n = 20), continuous ultrasonic irrigation (CUI). Samples were evaluated by direct observation and still images recorded under a dental operating microscope. To examine irrigating solution penetration, 20% Chinese ink (Sanford Rotring GmbH, Hamburg, Germany) was added to a 5% sodium hypochlorite solution and delivered into the root canals. **Results:** The results showed a significantly higher ($P < .05$) penetration of irrigant into the lateral canals in the CUI group. PUI and CUI did not differ significantly in solution penetration into the apical thirds of the main canals. The PPI group showed a significantly lower penetration of sodium hypochlorite into the main and lateral canals compared with the CUI and PUI groups. **Conclusion:** CUI as a final rinse significantly increased the penetration of irrigating solution into simulated lateral canals. (*J Endod* 2012; ■:1–4)

Key Words

Continuous ultrasonic irrigation, passive ultrasonic irrigation, positive pressure irrigation, root canal irrigation, vapor lock

Successful endodontic treatment requires the removal of all vital and necrotic pulp tissue, microorganisms and their toxins, and the smear layer (1). However, the complexity of the root canal anatomy makes it difficult to completely shape and clean the root canal system using hand and rotary instrumentation techniques (2–4). Isthmi, fins, webs, anastomoses, and other irregularities within the root canal often harbor tissue, microbes, and debris after instrumentation (5). Current instrumentation techniques cannot reach all surfaces and irregularities within the canal (6, 7). For this reason, instrumentation must be combined with adequate irrigation to complete the cleaning process and decrease the microbial load within the root canal system (4).

Root canal irrigation systems can be divided into 2 broad categories: manual and machine-assisted irrigation techniques (3). Manual irrigation techniques include positive pressure irrigation (PPI), which is commonly performed with a syringe and an endodontic needle. Machine-assisted irrigation techniques include sonic and ultrasonic methods as well as newer systems such as apical negative pressure irrigation (8) and plastic rotary files (4). Two important factors should be considered during irrigation: (1) whether the system can deliver irrigant to the entire root canal system, particularly the apical third and (2) whether it is capable of debriding areas not reached with mechanical instrumentation, such as lateral canals and isthmi (4–6). Therefore, it is extremely important to investigate the ability of irrigant systems to introduce irrigant into the apical third of the root canal and into lateral canals.

Side-vented needle irrigation has been proposed to improve the hydrodynamic action of irrigant flow. However, this technique produces irrigant exchange no farther than 1.0 mm beyond the needle tip (9) and is ineffective in flushing debris from the apical third of the canal without adjunctive agitation methods (10). The use of ultrasonics has been proposed to address problems encountered in the debridement and the disinfection of the root canal system (5). Two types of ultrasonic irrigation have been described: the first type combines simultaneous ultrasonic instrumentation and irrigation (UI) and the second type, often referred to as passive ultrasonic irrigation (PUI), is performed without simultaneous instrumentation (3). Gutarts et al (2) histologically compared the *in vivo* debridement efficacy of hand/rotary canal preparation with that of a hand/rotary/ultrasound technique using an ultrasonic needle in a Mini-Endo (Spartan EIE Inc, San Diego, CA) unit in the mesial root canals of vital mandibular molars. The authors concluded that the 1-minute use of the ultrasonic needle after hand/rotary instrumentation resulted in significantly cleaner canals and isthmi in the mesial roots of mandibular molars. Burleson et al (5) confirmed that biofilm/necrotic debridement efficiency was significantly increased in the mesial roots of mandibular molars after 1 minute of UI through an irrigation needle directly connected to a Mini-Endo unit. Using the same ultrasonic device, Carver et al (11) showed that the addition of 1 minute of UI significantly reduced bacterial-positive cultures, confirming the antibacterial efficacy of a UI needle in combination with hand and rotary instrumentation. On the basis of these positive results, a dedicated device, the ProUltra PiezoFlow (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK), has been introduced. The device consists mainly of an ultrasonically energized needle connected to a reservoir of sodium

From the *University of Medicine and Dentistry, Santiago de Compostela, Spain; and [†]University of Dentistry, Verona, Italy.

Address requests for reprints to Professora Purificación Varela-Patiño, Unit of Dental Pathology and Therapeutics II, School of Medicine and Dentistry, University of Santiago de Compostela, Rúa Entreríos s/n 15782, Santiago de Compostela, Spain. E-mail address: pablocastelobaz@hotmail.com; puri.varela@usc.es

0099-2399/\$ - see front matter

Copyright © 2012 American Association of Endodontists.
doi:10.1016/j.joen.2011.12.032

Basic Research—Technology

hypochlorite (NaOCl). This continuous ultrasonic irrigation (CUI) system allows simultaneous continuous irrigant delivery and ultrasonic activation; unlike PUI, it does not require the intermittent replenishment of irrigant between ultrasonic file activations (12). The agitation of NaOCl enhances tissue dissolution (13), and its continuous replenishment provides an uninterrupted supply of nascent chlorine for organic tissue dissolution (14).

The evaluation of irrigation in the apical third of the root canal should consider the phenomenon of vapor lock. A closed canal system entraps gas, compromising optimal irrigant delivery to the apical 2 mm of the canal space (15). The purpose of this study was to compare the effects of 3 irrigation systems (CUI, PUI, and PPI) on irrigant delivery into the apical third of the root canal and into simulated lateral canals in cleared extracted teeth.

Materials and Methods

This study used 60 extracted human single-rooted teeth with fully formed apices (maxillary central and lateral incisors with substantially equal canal curvature and morphology) that had not undergone prior endodontic treatment. After debriding the root surface, specimens were immersed in a 5% NaOCl solution (Nicolor 5; OGNA, Muggiò, Italy) for 1 hour and then stored in saline solution until preparation. The presence of a single canal was verified radiographically and by direct exploration. The same operator performed all experimental procedures. Each specimen was sectioned to obtain a working length of 16 mm. The working length was established under a microscope (M525 F40; Leica, Heerbrugg, Switzerland) at 10× magnification with the tip of the instrument visible at the apical foramen. Each root canal was preflared using K-Flexofiles (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) up to #20 and then shaped using ProTaper S1-S2-F1-F2-F3 (Dentsply Maillefer). Irrigation was performed with a 30-G needle (ProRinse; Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK) using 3 mL 5% NaOCl at 50°C after each filing. The irrigation needles were introduced passively up to 2 mm from the working length, and the rate of delivery was fixed at 3 mL/min. The total irrigation time was 10 min/specimen. After instrumentation, all teeth were rinsed for 3 minutes with 3 mL 10% EDTA (Tubuliclean; OGNA) followed by a 3-minute final rinse with 5% NaOCl. After drying with paper points, the roots were inspected under the microscope at 10× magnification to verify the absence of cracks and canal cleanliness.

After the completion of the shaping procedures, the teeth were cleared using the modified technique described by Robertson and Leeb (16) and prepared following the protocol described by de Gregorio et al (4). Briefly, teeth were submerged in 5% nitric acid for 36 hours, and the solution was renewed every 8 hours. Once decalcified, samples were cleared with tap water for 3 minutes, and lateral canals were created by inserting a 06 C+ file (Dentsply Maillefer) from the buccal to the lingual wall at 2, 4, and 6 mm from the working length perpendicular to the external surface. Samples were dehydrated in ascending grades of ethyl alcohol and submerged in 99.9% methyl salicylate for clearing and rehardening of dental tissues as described by Gregorio et al (4). A total of 360 simulated lateral canals were created (6 canals/tooth, 2 lateral canals at each level).

To resemble the clinical situation, a closed system was created by coating each root with soft modeling wax (Cera Reus SA, Reus, Spain). This coating sealed the apical foramen and lateral canals at all 3 levels. During this procedure, a ProTaper F3 gutta-percha point (Dentsply Maillefer) was introduced into the canal to the working length to prevent the penetration of wax into the canal space.

Contrast Solution

A contrast solution containing 5% NaOCl (80%) and 20% Chinese ink (Sanford Rotring GmbH, Hamburg, Germany) was prepared and delivered to the prepared root canals.

Experimental Groups

Irrigation was performed in the PPI and PUI groups using a slight modification of the methods described by de Gregorio et al (4) in a similar investigation. Irrigation was performed in the CUI group by slightly modifying the manufacturer's instructions. Irrigation time was the same for the 3 groups (1 minute). All procedures were recorded under a dental operating microscope. Details of the irrigation sequences are presented later.

Group 1 (n = 20): Positive Pressure (Control). Teeth in group 1 were irrigated with PPI (1 minute) using a 30-G ProRinse needle and a syringe at 2 mm from the working length. A total volume of 6 mL of contrast solution was delivered. The solution was not dynamically activated in this group.

Group 2 (n = 20): PUI. A total volume of 2 mL of contrast solution was delivered into the teeth in group 2 using a 30-G ProRinse needle, and the solution was left in the root canals. Ultrasonic activation was performed with an ISO 15 stainless-steel ultrasonic file (Irri-Safe; Satelec, Acteón Group, Merignac Cedex, France) mounted on a Suprasson P5 Booster ultrasonic unit (Satelec, Acteón Group). The file was passively inserted to 1 mm from the working length and activated using a power setting of 6 as recommended by the manufacturer. The procedure was repeated 3 times, with a total volume of 6 mL of contrast solution and a total activation time of 1 minute for each tooth.

Group 3 (n = 20): CUI. Active ultrasonic activation was performed using ProUltra PiezoFlow needles mounted on a Suprasson P5 Booster ultrasonic unit. A 10-mL syringe containing contrast solution was attached to the luer-lock connection on the UI needle. The length at which the needle began to bind against the canal walls was determined, and the needle was then pulled back approximately 1 mm and the silicon stopper was set to this depth. The insertion depth never exceeded 75% of the working length established for instrumentation. The inactive needle was placed into the canal, and the solution was delivered. Once irrigant filled the canal, the ultrasonic unit was activated with the power set to level 6. Maintaining a continuous irrigation flow of 6 mL/min, the active ultrasonic tip was gently moved up and down in a consistent straight-line path from the canal entrance to the stopper setting. The total activation time was 1 minute, and a total volume of 6 mL of contrast solution was delivered.

Evaluation Criteria

The criteria described by de Gregorio et al (4) were used in this study. The samples were evaluated by direct observation of images recorded under the dental operating microscope. The orientation of all samples was standardized in relation to the recording microscope to produce similar images for all groups.

The penetration of contrast solution into the simulated lateral canals was scored by counting the number of lateral canals (0-2) penetrated to at least 50% of the total length. The outcome was assessed in each tooth at each of the 3 working lengths (2, 4, and 6 mm). One trained evaluator who was blinded to the group assignment of each sample scored all samples.

Statistical Analysis

The Mann-Whitney *U* test was used to analyze and compare irrigant penetration to the working length and into lateral canals. *P* values of .05 were considered to indicate statistical significance.

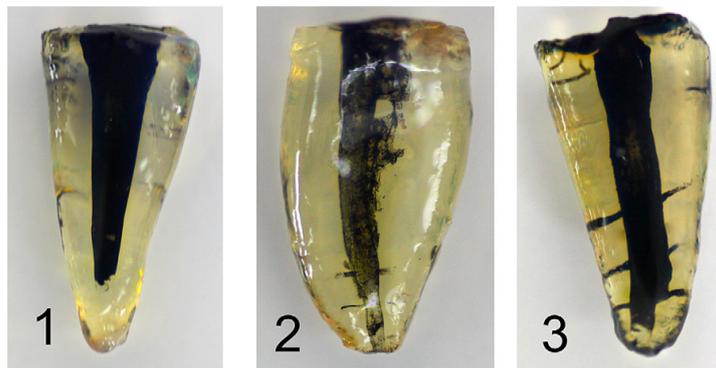


Figure 1. A representative sample from each group: (1) positive pressure irrigation, (2) passive ultrasonic irrigation, and (3) continuous ultrasonic irrigation.

Results

The flow of irrigant to the working length of the root canal and into lateral canals was analyzed for all samples ($n = 20$) in each group. A representative sample from each group is shown in Figure 1. In group 1 (PPI, control), the contrast solution did not reach the working length in any sample (0%). The contrast solution reached the working length in 70% of samples in group 2 (PUI) and 80% of samples in group 3 (CUI). Penetration in group 1 differed significantly from that in the other 2 groups ($P < .001$), but the difference between groups 2 and 3 was not significant (Table 1).

Overall penetration into the lateral canals was 0% in group 1 (PPI), 30% in group 2 (PUI), and 67% in group 3 (CUI, Table 1). These values differed significantly among all groups ($P < .001$). These results were confirmed in separate analyses of the 3 levels (2, 4, and 6 mm), with a significantly lower penetration rate in group 1 than in groups 2 and 3 ($P = .043$, $P < .001$, and $P = .017$, respectively; Fig. 2 and Table 1).

Discussion

Remaining debris can harbor bacteria, resulting in treatment failure (17–19). Thus, effective irrigant delivery and agitation are prerequisites for complete debridement and successful endodontic treatment (2, 5). Several studies have shown that the ultrasonic agitation of irrigation solutions after hand or rotary instrumentation can improve the cleanliness of canals and isthmi (5, 11). The ultrasonic activation of irrigation solutions is generally performed after instrumentation by passively inserting an ultrasonic file into a solution-filled root canal and activating the file for ~1 minute (5, 12). However, the efficacy of this PUI technique depends on the

penetration of the ultrasonic file to 1 to 2 mm from the working length, which is difficult to achieve in curved canals, and the volume of the activated solution is limited. Several recent studies have shown the efficacy of the use of an alternative ultrasonic device for the activation of irrigants (2, 5). This CUI method is based primarily on the activation of an ultrasonically energized needled connected directly to the ultrasonic unit. The irrigating solution moves into the needle through a syringe attached to the luer-lock connection on the needle and is then activated and delivered into the root canal. The main advantages of this technique are the continuous replenishment of the solution and the ability to achieve activation without direct contact between the ultrasonic file and the solution. In other words, the irrigating solution is delivered from the needle in an activated state, avoiding the need to insert the needle into the apical third of the root canal (2, 5). However, creating an irregularly shaped canal preparation is possible, especially in curved canals. After the demonstration of positive debridement and disinfection effects with the first prototypes of this instrument (2, 5), the ProUltra PiezoFlow was introduced as a commercial product. In this *in vitro* investigation, we compared the ability of 2 ultrasonic irrigation techniques (PUI and CUI) and one traditional technique (PPI) to deliver a contrast-dyed irrigating solution into the apical thirds of root canals and into artificially created lateral canals in cleared extracted teeth. To best reproduce the clinical situation, we used an *in vitro* closed-end canal design that closely replicates *in vivo* scenarios (20, 21) in which the apical foramen is enclosed within alveolar bone and the periodontal ligament (2, 5). Clinically, this design forces the irrigants to exit the canal coronally rather than apically or laterally (4). This physical limitation may explain the discrepancies in the findings of previous studies; some articles have reported optimal results with the use of PPI (22, 23), whereas others have found its

TABLE 1. Samples Irrigated to the Working Length and Number of Lateral Canals Penetrated by the Irrigant Using Three Irrigation Systems

	Group 1: Positive pressure irrigation (%)	Group 2: Passive ultrasonic irrigation (%)	Group 3: Continuous ultrasonic irrigation (%)	P
Reached working length, n (%)	0 (0)	14 (70)	16 (80)	<.001
Canals penetrated, n (%)				
Overall	0 (0)	36 (30)	81 (67)	<.001
6 mm	0 (0)	15 (37.5)	28 (70)	.017
4 mm	0 (0)	8 (20)	28 (70)	.001
2 mm	0 (0)	13 (32.5)	25 (62.5)	.043
No. of canals penetrated, mean (% total canals penetrated)	0	0.3	0.675	<.001
Standard deviation	0	0.04	0.04	

Basic Research—Technology

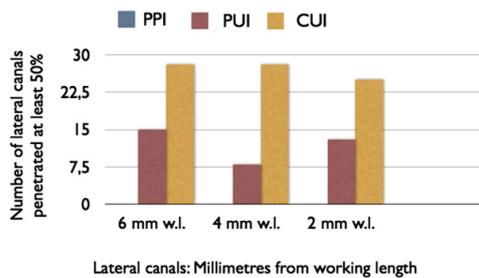


Figure 2. Irrigant penetration into lateral canals at the 3 levels. PUI, passive ultrasonic irrigation; CUI, continuous ultrasonic irrigation. *x*-axis, mm from the working length, *y*-axis: number of lateral canals penetrated.

efficacy to be very limited (4, 24, 25). These differences may be caused by the presence of an apical vapor lock created by the organic decomposition of NaOCl into a bubble of carbon dioxide and ammonium (4). Tay et al (15) showed that the presence of an apical vapor lock adversely affected the debridement efficacy of PPI in a closed-end canal design.

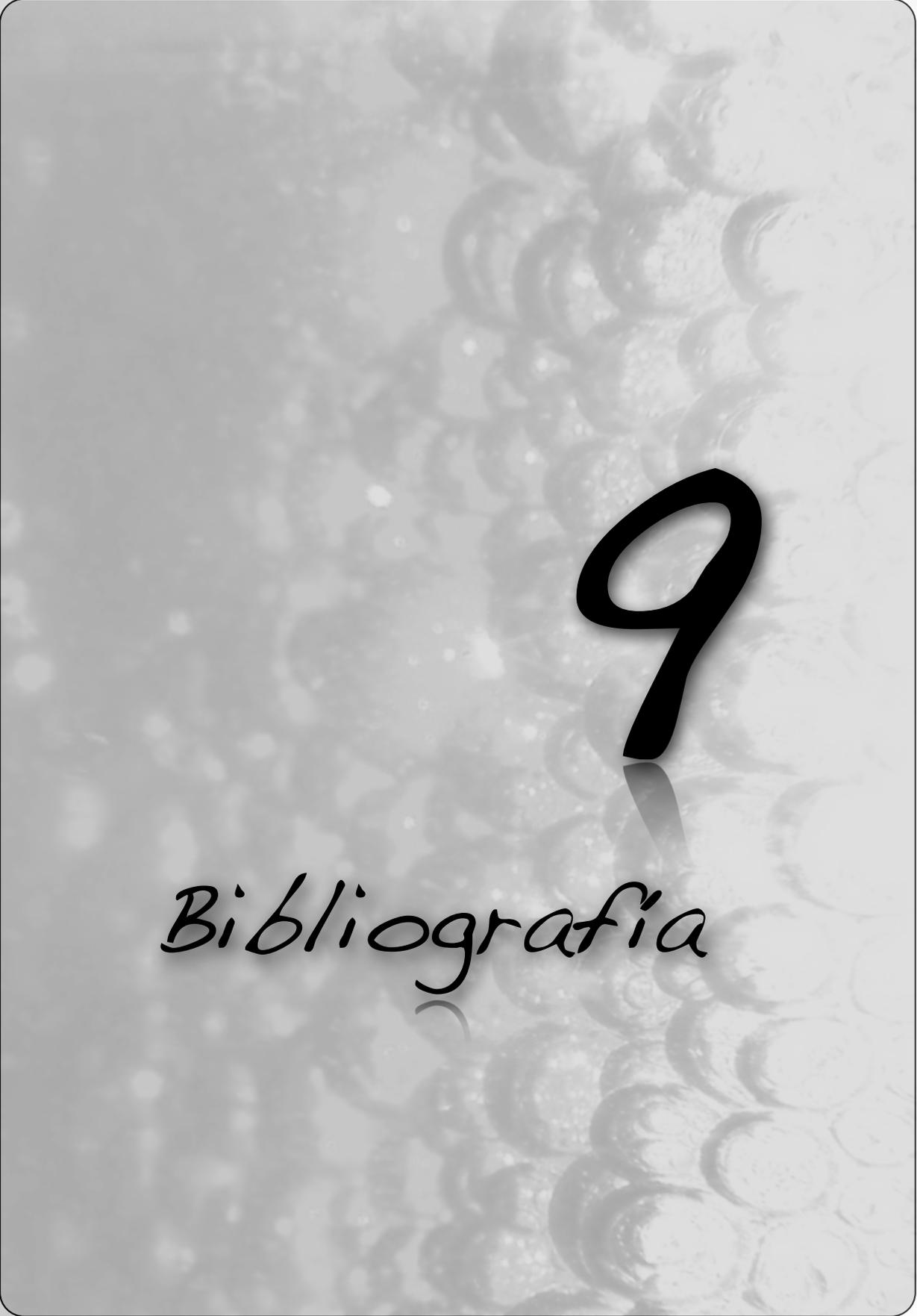
In our investigation, the contrast solution did not reach the canal apex of any sample or penetrate the lateral canals at any level with the use of PPI. These results are in agreement with those of de Gregorio et al (4), who used similar methods. We also compared the 2 ultrasonic techniques (PUI and CUI) with each other and with PPI. Both ultrasonic techniques produced adequate irrigant penetration into the apical third of the root canal, with no significant difference observed. This finding suggests that both ultrasonic techniques activated the irrigant with sufficient force to overcome the apical vapor lock. Our results revealed significant differences between the 2 UI techniques in irrigant penetration into the simulated lateral canals; a significantly higher number of lateral canals were penetrated by the contrast solution in the CUI group. This finding may be caused by the continuous exchange of solution provided by this technique and the optimized activation of the solution as it passes through the ultrasonically energized needle. Finally, both ultrasonic techniques performed significantly better than the PPI technique, as measured by irrigant penetration into the apical third of the root canal and into the artificially created lateral canals. These findings confirm the results obtained in previous studies in which the efficacy of UI was found to be significantly higher than that of PPI (26–29).

Acknowledgments

The authors deny any conflicts of interest related to this study.

References

- Siqueira JF Jr, Rôças IN. Clinical implications and microbiology of bacterial persistence after treatment procedures. *J Endod* 2008;34:1291–301.
- 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;31:166–70.
- Gu LS, Kim JR, Ling J, et al. Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *J Endod* 2009;35:791–804.
- de Gregorio C, Estevez R, Cisneros R, Paranjpe A, Cohenca N. Efficacy of different irrigation and activation systems on the penetration of sodium hypochlorite into simulated lateral canals and up to working length: an in vitro study. *J Endod* 2010;36:1216–21.
- Burleson A, Nusstein J, Reader A, Beck M. The in vivo evaluation of Hand/Rotatory/Ultrasonic instrumentation in necrotic, human mandibular molars. *J Endod* 2007;33:782–7.
- Siqueira JF Jr, Lima KC, Magalhaes FA, Lopes HP, de Uzeda M. Mechanical reduction of the bacterial population in the root canal by three instrumentation techniques. *J Endod* 1999;25:332–5.
- Peters OA. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *J Endod* 2004;30:559–67.
- Nielsen BA, Baumgartner JC. Comparison of the endovac system to needle irrigation of root canals. *J Endod* 2007;33:611–5.
- Gao Y, Haapasalo M, Shen Y, et al. Development and validation of a three-dimensional computational fluid dynamics model of root canal irrigation. *J Endod* 2009;35:1282–7.
- Ahmad M, Pitt Ford TR, Crum IA, et al. Ultrasonic debridement of root canals: acoustic cavitation and its relevance. *J Endod* 1988;14:486–93.
- Carver K, Nusstein J, Reader A, Beck M. In vivo antibacterial efficacy of ultrasound after hand and rotary instrumentation in human mandibular molars. *J Endod* 2007;33:1038–43.
- van der Sluis LW, Versluis M, Wu MK, et al. Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *Int Endod J* 2007;40:415–26.
- Stojicic S, Zivkovic S, Qian W, Zhang H, Haapasalo M. Tissue dissolution by sodium hypochlorite: effect of concentration, temperature, agitation, and surfactant. *J Endod* 2010;36:1558–62.
- Zehnder M. Root canal irrigants. *J Endod* 2006;32:389–98.
- Tay FR, Gu LS, Schoeffel GJ, et al. Effect of vapor lock on root canal debridement by using a side-vented needle for positive-pressure irrigant delivery. *J Endod* 2010;36:745–50.
- Robertson DC, Leeb IJ. The evaluation of a transparent tooth model system for the evaluation of endodontically filled teeth. *J Endod* 1982;8:317–21.
- Ricucci D, Siqueira JF Jr. Fate of the tissue in lateral canals and apical ramifications in response to pathologic conditions and treatment procedures. *J Endod* 2010;36:1–15.
- Weine F. The enigma of the lateral canal. *Dent Clin North Am* 1984;28:833–52.
- Xu G, Zhang Z. Filling of the lateral canal. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1984;58:221–4.
- Migun NP, Shnip AI. Model of film flow in a dead-end conic capillary. *J Eng Phys Thermophys* 2002;75:1422–8.
- Usman N, Baumgartner JC, Marshall JG. Influence of instrument size on root canal debridement. *J Endod* 2004;30:110–2.
- Khademi A, Yazdizadeh M, Feizianfard M. Determination of the minimum instrumentation size for penetration of irrigants to the apical third of root canal systems. *J Endod* 2006;32:417–20.
- Grandini S, Balleri P, Ferrari M. Evaluation of Glyde File Prep in combination with sodium hypochlorite as a root canal irrigant. *J Endod* 2002;28:300–3.
- Usman N, Baumgartner JC, Marshall JG. Influence of instrument size on root canal debridement. *J Endod* 2004;30:110–2.
- O'Connell MS, Morgan LA, Beeler WJ, Baumgartner JC. A comparative study of smear layer removal using different salts of EDTA. *J Endod* 2000;26:739–43.
- Van der Sluis L, Wu M, Wesselink P. The efficacy of ultrasonic irrigation to remove artificially placed dentine debris from human root canals prepared using instruments of varying taper. *Int Endod J* 2005;38:764–8.
- 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;37:672–8.
- Al-Jadaa A, Paqué F, Attin T, Zehnder M. Necrotic pulp tissue dissolution by passive ultrasonic irrigation in simulated accessory canals: impact of canal location and angulation. *Int Endod J* 2009;42:59–65.
- Al-Jadaa A, Paqué F, Attin T, Zehnder M. Acoustic hypochlorite activation in simulated curved canals. *J Endod* 2009;35:1408–11.



9

Bibliografia

- Abbott PV, Heijkoop PS, Cardaci SC, Hume WR, Heithersay GS. An SEM study of the effects of different irrigation sequences and ultrasonics. *Int Endod J* 1991;24: 308-16.
- Abou-Rass M, Oglesby SW. The effects of temperature, concentration, and tissue type on the solvent ability of sodium hypochlorite. *J Endod* 1981;7:376-7.
- Addy M, Moran JM. Clinical indications for the use of chemical adjuncts to plaque control: chlorhexidine-formulations. *Periodontol 2000* 1997;15:52-4.
- Ahmad M, Pitt Ford TJ, Crum LA. Ultrasonic debridement of root canals: acoustic streaming and its possible role. *J Endod* 1987;13:490-9.
- Akisue E, Tomita VS, Gavini G, Poli de Figueiredo JA. Effect of the combination of sodium hypochlorite and clorhexidine in dentinal permeability: a scanning electron microscopy precipitate observation. *J Endod* 2010;36:847-850.
- Akpata ES, Blechman H. Bacterial invasion of pulpal dentin wall in vitro. *J Dent Res* 1982;61:435-8.
- Al-Hadlaq sM, Al-Turaiki sA, Al-sulami U, saad AY. Efficacy of a new brush-covered irrigation needle in removing root canal debris: a scanning electron microscopic study. *J Endod* 2006;32:1181-4.
- Alacam T. Scanning electron microscope study comparing the efficacy of endodontic irrigating systems. *Int Endod J* 1987;20:287-94.
- Alfredo E, Marchesan MA, Sousa-Neto MD, Brugnera-Júnior A. Temperature variation at the external root surface during 980-nm diode laser irradiation in the root canal. *J Dent* 2008;36: 529-34.
- Archer R, Reader A, Nist R, Beck M, Meyers WJ. An in vivo evaluation of the efficacy of ultrasound after step-back preparation in mandibular molars. *J Endod* 1992;18: 549-52.

-Ardila CN, Wu MK, Wesselink PR. Percentage of filled canal area in mandibular molars after conventional root-canal instrumentation and after a noninstrumentation technique (NIT). *Int Endod J* 2003;36:591-8.

-Attin T, Buchalla W, Zirkel C, Lussi A. Clinical evaluation of the cleansing properties of the noninstrumental technique for cleaning root canals. *Int Endod J* 2002;35:929-33.

-Bahcall JK, Miserendino L, Walia H, Belardi DW. Scanning electron microscopic comparison of canal preparation with Nd:YAG laser and hand instrumentation: A preliminary study. *Gen Dent* 1993;41:45-47.

-Baker MC, Ashrafi SH, Van Cura JE, Remeikis NA. Ultrasonic compared with hand instrumentation: a scanning electron microscope study. *J Endod* 1988;14:435-40.

-Baldo BA, Fisher MM. Substituted ammonium ions as allergenic determinants in drug allergy. *Nature* 1983;306:262-4.

-Barnett F, Godick R, Tronstad L. Clinical suitability of a sonic vibratory endodontic instrument. *Endod Dent Traumatol* 1985;1:77-81.

-Barnett F, Trope M, Khoja M, Tronstad L. Bacteriologic status of the root canal after sonic, ultrasonic and hand instrumentation. *Endod Dent Traumatol* 1985;1:228-31.

-Basmadjian-Charles CL, Farge P, Bourgeois DM, Lebrun T. Factors influencing the long-term results of endodontic treatment: a review of the literature. *Int Dent J* 2002; 52:81-6.

-Basrani B, Manek S, Sodhi R, Fillery E, Manzur A. Interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine Gluconate. *J Endod* 2007;33:966-9.

-Baumgartner JC, Ibay AC. The chemical reactions of irrigants used for root canal debridement. *J Endod* 1987;13:47-51.

-Baumgartner JC, Mader CL. A scanning electron microscopic evaluation of four root canal irrigation regimens. *J Endod* 1987;13:147-57.

- Bernstein JA, Stauder T, Bernstein DI, Bernstein IL. A combined respiratory and cutaneous hypersensitivity syndrome induced by work exposure to quaternary amines. *J Allergy Clin Immunol* 1994;94:257-9.

- Bloomfield SF, Miles GA. The antibacterial properties of sodium dichloroisocyanurate and sodium hypochlorite formulations. *J Appl Bacteriol* 1979;46:65-73.

- Blum JY, Michalesco P, Abadie MJ. An evaluation of the bactericidal effect Nd:YAP laser. *J Endod* 1997;23:583-5.

- Boutsioukis 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;40:504-13.

- Bradford CE, Eleazer PD, Downs KE, Scheetz JP. Apical pressures developed by needles for canal irrigation. *J Endod* 2002;28:333-5.

- Brito P, Souza LC, Machado de Oliveira JC, Alves FRF, De-Deus G, Lopes HP, Siqueira J. Comparison of the effectiveness of three irrigation techniques in reducing intracanal *Enterococcus faecalis* populations: an in vitro study. *J Endod* 2009;35:1422-7.

- Brunson M, Heilborn C, Johnson DJ, Cohenca N. Effect of apical preparation size and preparation taper on irrigant volume delivered by using negative pressure irrigation system. *J Endod* 2010;36:721-4.

- Burkhardt-Holm P, Oulmi Y, Schroeder A, Storch V, Braunbeck T. Toxicity of 4-chloraniline in early life stages of Zebrafish (*Danio rerio*): II. Cytopathology and regeneration of liver and gills after prolonged exposure to waterborne 4 chloraniline. *Arch Environ Contam Toxicol* 1999;37:85-102.

- Burlison A, Nusstein J, Reader A, Beck M. The in vivo evaluation of hand/rotary/ultrasound instrumentation in necrotic, human mandibular molars. *J Endod* 2007; 33:782-7.

- Caliskan MK, Turkun M, Alper S. Allergy to sodium hypochlorite during root canal therapy: a case report. *Int Endod J* 1994;27:163-7.
- Calt S, Serper A. Time-dependent effects of EDTA on dentin structures. *J Endod* 2002;28:17-9.
- Cameron JA. Factors affecting the clinical efficiency of ultrasonic endodontics: a scanning electron microscopy study. *Int Endod J* 1995;28:47-53.
- Cameron JA. The effect of a fluorocarbon surfactant on the surface tension of the endodontic irrigant, sodium hypochlorite. A preliminary report. *Aust Dent J* 1986;31:364-8.
- Cameron JA. The effect of ultrasonic endodontics on the temperature of the root canal wall. *J Endod* 1988;14:554-9.
- Cameron JA. The synergistic relationship between ultrasound and sodium hypochlorite: a scanning electron microscope evaluation. *J Endod* 1987;13:541-5.
- Caron G, Nham K, Bronnec F, Machtou P. Effectiveness of different final irrigant activation protocols on smear layer removal in curved canals. *J Endod* 2010;36:1361-6.
- Carver K, Nusstein J, Reader A, Beck M. In vivo antibacterial efficacy of ultrasound after hand and rotary instrumentation in human mandibular molars. *J Endod* 2007;33:1038-43.
- Chavez De Paz LE, Dahlén G, Molander A, Möller A, Bergenholtz G. Bacteria recovered from teeth with apical periodontitis after antimicrobial endodontic treatment. *Int Endod J* 2003;36:500-8.
- Cheung GS, Stock CJ. In vitro cleaning ability of root canal irrigants with and without endosonics. *Int Endod J* 1993;26:334-43.
- Chhabra RS, Huff JE, Haseman JK, Elwell MR, Peters AC. Carcinogenicity of p chloroaniline in rats and mice. *Food Chem Toxicol* 1991;29:119-24.
- Chow TW. Mechanical effectiveness of root canal irrigation. *J Endod* 1983;9:475-9.

-Clark-Holke D, Drake D, Walton R, Rivera E, Guthmiller JM. Bacterial penetration through canals of endodontically treated teeth in the presence or absence of the smear layer. *J Dent* 2003;31:275-81.

-Clarkson RM, Moule AJ, Podlich H, et al. Dissolution of porcine incisor pulps in sodium hypochlorite solutions of varying compositions and concentrations. *Aust Dent J* 2006;51:245-51.

-Coons D, Dankowski M, Diehl M, et al. Performance in detergents, cleaning agents and personal care products: detergents. In: Falbe J, ed. *Surfactants in consumer products*. Berlin: Springer-Verlag, 1987:197-305.

-Costerton JW, Lewandowski Z, DeBeer D, Caldwell D, Korber D, James G. Biofilms, the customized microniche. *J Bacteriol* 1994;176:2137-42.

-Cotter JL, Fader RC, Lilley C, Herndon DN. Chemical parameters, antimicrobial activities, and tissue toxicity of 0.1 and 0.5% sodium hypochlorite solutions. *Antimicrob Agents Chemother* 1985;28:118-22.

-Crane AB. *A predictable root canal technique*. Philadelphia: Lea & Febiger, 1920.

-Cunningham WT, Balekjian AY. Effect of temperature on collagen-dissolving ability of sodium hypochlorite endodontic irrigant. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1980;49:175-7.

-Cunningham WT, Martin H, Forrest WR. Evaluation of root canal debridement by the endosonic ultrasonic synergistic system. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1982; 53:401-4.

-Cunningham WT, Martin H, Pelleu GB Jr, Stoops DE. A comparison of antimicrobial effectiveness of endosonic and hand root canal therapy. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1982;54:238-41.

-Cunningham WT, Martin H. A scanning electron microscope evaluation of root canal debridement with the endosonic ultrasonic synergistic system. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1982;53:527-31.

- da Costa Ribeiro A, Nogueira GE, Antoniazzi JH. Effects of diode laser irradiation on root canal walls: thermographic and morphological studies. *J Endod* 2007;33: 252-5
- Dahlén G, Bergenholtz G. Endotoxic activity in teeth with necrotic pulps. *J Dent Res* 1980;59:1033-40.
- Dakin HD. On the use of certain antiseptic substances in treatment of infected wounds. *BMJ* 1915;2:318-20.
- Davies GE, Francis J, Martin AR, Rose FL, Swain G. 16-Di-4' chlorophenyldiguanidohexane (hibitane); laboratory investigation of a new antibacterial agent of high potency. *Br J Pharmacol Chemother* 1954;9:192-6.
- de Souza EB, Cai S, Simionato MR, Lage-Marques JL. High-power diode laser in the disinfection in depth of the root canal dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008; 106(1): 68-72
- Desai P, Himel V. Comparative safety of various intracanal irrigation systems. *J Endod* 2009;35:545-549.
- Druttman AC, Stock CJ. An in vitro comparison of ultrasonic and conventional methods of irrigant replacement. *Int Endod J* 1989;22:174-8.
- Dwyer TG, Torabinejad M. Radiographic and histologic evaluation of the effect of endotoxin on the periapical tissues of the cat. *J Endod* 1980;7:31-5.
- Emilson CG. Susceptibility of various microorganisms to chlorhexidine. *Scand J Dent Res* 1977;85:255-65.
- España AJ, Arnabat J, Berini L, Gay-Escoda C. Aplicaciones del láser en Odontología. *RCOE* 2004;9:497-577.
- Estrela C, Estrela CR, Barbin EL, et al. Mechanism of action of sodium hypochlorite. *Braz Dent J* 2002;13:113-7.

-Estrela C, Estrela CR, Decurcio DA, Hollanda AC, Silva JA. Antimicrobial efficacy of ozonated water, gaseous ozone, sodium hypochlorite and chlorhexidine in infected human root canals. *Int Endod J* 2007;40:85–93.

-Evanov C, Liewehr F, Buxton TB, Joyce AP. Antibacterial efficacy of calcium hydroxide and chlorhexidine gluconate irrigants at 37 degrees C and 46 degrees C. *J Endod* 2004;30:653-7.

-Fabricius L, Dahlén G, Holm SE, Möller ÅJR. Influence of combinations of oral bacteria on periapical tissues of monkeys. *Scand J Dent Res* 1982;90:200-6.

-Falk KW, Sedgley CM. The influence of preparation size on the mechanical efficacy of root canal irrigation in vitro. *J Endod* 2005;31:742-5.

-Fegan SE, Steiman HR. Comparative evaluation of the antibacterial effects of intracanal Nd:YAG laser irradiation: an in vitro study. *J Endod* 1995;21:415-7.

-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;9:68-75.

-Fimple JL, Fontana CR, Foschi F, et al. Photodynamic treatment of endodontic polymicrobial infection in vitro. *J Endod* 2008;34:728–34

-Fimple JL, Fontana CR, Foschi k. Photodynamic treatment of endodontic polymicrobial infection in vitro. *J Endod* 2008;34:728-34.

-Fonseca MB, Júnior PO, Pallota RC. Photodynamic therapy for root canals infected with *Enterococcus faecalis*. *Photomed Laser Surg* 2008;26:209-13.

-Foschi F, Fontana CR, Ruggiero K, et al. Photodynamic inactivation of *Enterococcus faecalis* in dental root canals in vitro. *Lasers Surg Med* 2007;39:782–7.

-Foschi F, Nucci C, Montebugnoli L, Marchionni S, Breschi L, Malagnino VA, Prati C. SEM evaluation of canal wall dentine following use of Mtwo and ProTaper NiTi rotary instruments. *Int Endod J* 2004;37:832–839.

-Foulkes DM. Some toxicological observations on chlorhexidine. *J Periodontal Res Suppl* 1973;12:55-60.

-Frais S, Ng YL, Gulabivala K. Some factors affecting the concentration of available chlorine in commercial sources of sodium hypochlorite. *Int Endod J* 2001;34:206-15.

-Garcez AS, Ribeiro MS, Tegos GP, Núñez SC, Jorge AO. Antimicrobial photodynamic therapy combined with conventional endodontic treatment to eliminate root canal biofilm infection. *Laser Surg Med* 2007;39:59-66.

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

-George S, Kishen A. Augmenting the antibiofilm efficacy of advanced noninvasive light activated disinfection with emulsified oxidizer and oxygen carrier. *J Endod* 2008;34:1119–23.

-Giangregio E. Changing concepts in endodontic therapy. *J Am Dent Assoc* 1985; 110:470-8.

-Goldman HM, Ruben MP, Sherman D. The application of laser spectroscopy for the qualitative and quantitative analysis of the inorganic components of calcified tissues. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1964;17:102-3.

-Goldman M, Kronman JH, Goldman LB, Clausen H, Grady J. New method of irrigation during endodontic treatment. *J Endod* 1976;2:257-60.

-Goldman M, White RR, Moser CR, Tenca JI. A comparison of three methods of cleaning and shaping the root canal in vitro. *J Endod* 1988;14:7-12.

- Goodman A, Reader A, Beck M, Melfi R, Meyers W. An in vitro comparison of the efficacy of the step-back technique versus a step-back/ultrasonic technique in human mandibular molars. *J Endod* 1985;11:249-56.

- Gordon CA, Hodges NA, Marriott C. Antibiotic interaction and diffusion through alginate and exopolysaccharide of cystic fibrosis-derived *Pseudomonas aeruginosa*. *J Antimicrob Chemother* 1988;22:667– 674.

- Grossman LI, Meiman BW. Solution of pulp tissue by chemical agents. *J Am Dent Assoc* 1941;28:223-5.

- Grossman LI. Irrigation of root canals. *J Am Dent Assoc* 1943;30:1915-7.

- Gu L, Kim JR, Ling J, Choi K, Pashley DH, Tay FR. Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *J Endod* 2009;35:791–804.

- Guerisoli DM, 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;35:418-21.

- Gulabivala K, Patel B, Evans G, Ng YL. Effects of mechanical and chemical procedures on root canal surfaces. *Endodontic Topics* 2005;10:103-22.

- Gulabivala K, Stock CJ, Lewsey JD, Ghori S, Ng YL, Spratt DA. Effectiveness of electrochemically activated water as an irrigant in an infected tooth model. *Int Endod J* 2004;37:624-31.

- 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;31:166-70.

- Gutierrez JH, Jofre A, Villena F. Scanning electron microscope study on the action of endodontic irrigants on bacteria invading the dentinal tubules. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1990;69:491-501.

- Gutknecht N, Moritz A, Conrads G, Sievert T, Lampert F. Bactericidal effect of the Nd:YAG laser in in vitro root canals. *J Clin Laser Med Surg* 1996;14:77-80.
- Gwinnett AJ. Smear layer: morphological considerations. *Oper Dent Suppl* 1984;3:2-12.
- Haapasalo M, Endal U, Zandi H, Coil J. Eradication of endodontic infection by instrumentation and irrigation solutions. *Endodontic Topics* 2005;10:77-102.
- Haapasalo M, Ørstavik D. In vitro infection and disinfection of dentinal tubules. *J Dent Res* 1987;66:1375-9.
- Haapasalo M, Ranta K, Ranta H. Facultative Gram-negative enteric rods in persistent periapical infections. *Acta Odontol Scand* 1983;91:458-63.
- Haga CS. Microscopic measurements of root canal preparations following instrumentation. *J Br Endod Soc* 1968;2:41-6.
- Hahn CL, Best AM, Tew JG. Cytokine induction by *Streptococcus mutans* and pulpal pathogenesis. *Infect Immun* 2000;68:6785-9.
- Haikel Y, Gorce F, Allemann C, Voegel JC. In vitro efficiency of endodontic irrigation solutions on protein desorption. *Int Endod J* 1994;27:16-20.
- Haikel Y, Serfaty R, Wilson P, Speisser JM, Allemann C. Cutting efficiency of nickel-titanium endodontic instruments and the effect of sodium hypochlorite treatment. *J Endod* 1998;24:736-9.
- Hamp SE, Emilson CG. Some effects of chlorhexidine on the plaque flora of the beagle dog. *J Periodontal Res Suppl* 1973;12:28-35.
- Hancock HH, Sigurdsson A, Trope M, Moiseiwitsch J. Bacteria isolated after unsuccessful endodontic treatment in a North American population. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2001;91:579-586.

- Hardee MW, Miserendino LJ, Kos W, Walia H. Evaluation of the antibacterial effects of intracanal Nd:YAG laser irradiation. *J Endod* 1994;20:377–380.
- Hauser V, Braun A, Frentzen M. Penetration depth of a dye marker into dentine using a novel hydrodynamic system (RinsEndo). *Int Endod J* 2007;40:644-52.
- Heling I, Rotstein I, Dinur T, Szewc-Levine Y, Steinberg D. Bactericidal and cytotoxic effects of sodium hypochlorite and sodium dichloroisocyanurate solutions in vitro. *J Endod* 2001;27:278-80.
- Hems RS, Gulabivala K, Ng YL, Ready D, Spratt DA. An in vitro evaluation of the ability of ozone to kill a strain of *Enterococcus faecalis*. *Int Endod J* 2005;38:22–29.
- Hems RS, Gulabivala K, Ng YL, Ready D, Spratt DA. An in vitro evaluation of the ability of ozone to kill a strain of *Enterococcus faecalis*. *Int Endod J* 2005;38:22-9.
- Hiadet J, Reader AL, Beck M, Meyers W. An in vitro comparison of the step-back technique versus step-back/ultrasonic technique in human mandibular molars. *J Endod* 1989;15:195-9.
- Hostynek JJ, Patrick E, Younger B, Maibach HI. Hypochlorite sensitivity in man. *Contact Dermatitis* 1989;20:32-7.
- Huang TY, Gulabivala K, Ng Y-L. 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;41:60-71.
- Hülsmann M, Hahn W. Complications during root canal irrigation: literature review and case reports. *Int Endod J* 2000;33:186-93.
- Hülsmann M, Heckendorff M, Lennon A. Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indications for their use. *Int Endod J* 2003;36:810-30.
- Hülsmann M. Irrigación del conducto radicular: objetivos, soluciones y técnicas. *J. Endodon Pract* 1998; 4:15-29.

- Huque J, Kota K, Yamaga M, Iwaku M, Hoshino E. Bacterial eradication from root dentine by ultrasonic irrigation with sodium hypochlorite. *Int Endod J* 1998;31:242-50.
- Jacinto RC, Gomes BP, Shah HN, Ferraz CC, Zaia AA, Souza-Filho FJ. Quantification of endotoxins in necrotic root canals from symptomatic and asymptomatic teeth. *J Med Microbiol* 2005;54:777-83.
- Javan A, Bennett WR, Herriot DR. *Phys Rev Lett.* 1961;6:106-8.
- Jeansonne MJ, White RR. A comparison of 2.0% chlorhexidine gluconate and 5.25% sodium hypochlorite as antimicrobial endodontic irrigants. *J Endod* 1994;20:276-8.
- Jenkins SM, Hayes SJ, Dummer PM. A study of endodontic treatment carried out in dental practice within the UK. *Int Endod J* 2001;34:16-22.
- 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;25:735-8.
- Kahn FH, Rosenberg PA, Gliksberg J. An in vitro evaluation of the irrigating characteristics of ultrasonic and subsonic handpieces and irrigating needles and probes. *J Endod* 1995;21:277-80.
- Kamburis JJ, Barker TH, Barfield RD, Eleazer PD. Removal of organic debris from bovine dentin shavings. *J Endod* 2003;29:559-61.
- Karthikeyan S, Korber DR, Wolfaardt GM, Caldwell DE. Adaptation of bacterial communities to environmental transitions from labile to refractory substrates. *Int Microbiol* 2001;4:73– 80.
- Keir DM, Senia ES, Montgomery S. Effectiveness of a brush in removing postinstrumentation canal debris. *J Endod* 1990;16:323-7.
- Kerekes K, Tronstad L. Long-term results of endodontic treatment performed with a standardized technique. *J Endod* 1979;5:83-90.

- Kimura Y, Wilder-Smith P, Matsumoto K. Lasers in endodontics: A review. *Int Endod J* 2000;33:173–185.
- Kimura Y, Wilder-Smith P, Yonaga K, Matsumoto K. Treatment of dentina hypersensitivity by lasers: A review. *J Clin Periodontol.* 2000;27:715-21.
- Kishen A, George S, Kumar R. Enterococcus faecalis- mediated biomineralized biofilm formation on root canal dentine in vitro. *J Biomed Mater* 2006;77:406-15.
- Kokkas AB, Boutsoukis A, Vassiliadis LP, Stavrianos CK. The influence of the smear layer on dentinal tubule penetration depth by three different root canal sealers: an in vitro study. *J Endod* 2004;30:100-2.
- Koskinen KP, Meurman JH, Stenvall H. Appearance of chemically treated root canal walls in the scanning electron microscope. *Scand J Dent Res* 1980;88:505-12.
- Krauthaim AB, Jermann TH, Bircher AJ. Chlorhexidine anaphylaxis: case report and review of the literature. *Contact Dermatitis* 2004;50:113-6.
- Kuphasuk C, Oshida Y, Andres CJ, Hovijitra ST, Barco MT, Brown DT. Electrochemical corrosion of titanium and titanium-based alloys. *J Prosthet Dent* 2001;85:195-202.
- L'Esperance FA Jr. An ophthalmic argon laser photocoagulation system: design, construction, and laboratory investigations. *Trans Am Ophthalmol Soc.* 1968;66:827-904.
- Langeland K. Tissue response to dental caries. *Endod Dent Traumatol* 1987;3:149-71.
- Larrea-Oyarbide, España-Tost AJ, Beriny-Aytés L, Gay-Escoda C. Aplicaciones del láser de diodo en Odontología. *RCOE* 2004;9:529-34.
- Le Goff A, Dautel-Morazin A, Guigand M, Vulcain JM, Bonnaure-Mallet M. An evaluation of the CO₂ laser for endodontic disinfection. *J Endodon* 1999;25:105-8.
- Lee MT, Bird PS, Walsh LJ. Photo-activated disinfection of the root canal: a new role for lasers in endodontics. *Aust Endod J* 2004; 30:93-8

- Lee Mt, Bird PS, Walsh LJ. Photo-activated disinfection of the root canals: a new role of the lasers in endodontis. *Aust Endod J* 2004;30:93-8.
- 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;37:672-8.
- Lertchirakarn V, Palamara JE, Messer HH. Patterns of vertical root fracture: factors affecting stress distribution in the root canal. *J Endod* 2003;29:523-8.
- Lester KS, Boyde A. Scanning electron microscopy of instrumented, irrigated and filled root canals. *Br Dent J* 1977;143:359-67.
- Lev R, Reader A, Beck M, Meyers W. An in vitro comparison of the step-back technique versus a step-back/ultrasonic technique for 1 and 3 minutes. *J Endod* 1987; 13:523-30.
- Loel DA. Use of acid cleanser in endodontic therapy. *J Am Dent Assoc* 1975;90:148-51.
- Love RM. *Enterococcus faecalis*—a mechanism for its role in endodontic failure. *Int Endod J* 2001;34:399-405.
- 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;18:616-9.
- Lussi A, Nussbacher U, Grosrey J. A novel noninstrumented technique for cleansing the root canal system. *J Endod* 1993;19:549-53.
- Maiman TH. Stimulated optical radiation in ruby. *Nature* 1960;187:493-4.
- Martin H, Cunningham WT, Norris JP, Cotton WR. Ultrasonic versus hand filing of dentin: a quantitative study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1980;49:79-81.
- Martin H. Ultrasonic disinfection of the root canal. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1976;42:92-9.

- McComb D, Smith DC, Beagrie GS. The results of in vivo endodontic chemomechanical instrumentation—a scanning electron microscopic study. *J Br Endod Soc* 1976;9:11-8.
- McDonnell G, Russell AD. Antiseptics and disinfectants: activity, action, and resistance. *Clin Microbiol Rev* 1999;12:147-79.
- McGill S, Gulabivala K, Mordan N, Ng YL. The efficacy of dynamic irrigation using a commercially available system (RinsEndo) determined by removal of a collagen 'biomolecular film' from an ex vivo model. *Int Endod J* 2008;41:602-8.
- Mehl A, Folwaczny M, Haffner C, Hickel R. Bactericidal effects of 2.94 m Er:YAG-Laser radiation in dental root canals. *J Endodon* 1999;25:490-3.
- Mejare B. *Enterococcus faecalis* and *Enterococcus faecium* in infected dental root canals at filling and their susceptibility to azidocillin and some comparable antibiotics. *Odontol Revy* 1975;26:193–204.
- Metzler RS, Montgomery S. Effectiveness of ultrasonics and calcium hydroxide for the debridement of human mandibular molars. *J Endod* 1989;15:373-8.
- Migun NP, Azuni MA. Filling of one-side-closed capillaries immersed in liquids. *J Colloid Interface Sci* 1996;181:337-40.
- Migun NP, Shnip AI. Model of film flow in a dead-end conic capillary. *J End PhysThermophys* 2002;75:1422-8.
- Miller TA, Baumgartner JC. Comparison of the antimicrobial efficacy of irrigation using the EndoVac to endodontic needle delivery. *J Endod* 2010;36:509-511.
- Mohammadi Z. Laser application in endodontics: an update review. *Int Dent J* 2009;59: 35-46.
- Molander A, Reit C, Dahlen G, Kvist T. Microbiological status of root-filled teeth with apical periodontitis. *Int Endod J* 1998;31:1–7.

-Moorer WR, Wesselink PR. Factors promoting the tissue dissolving capability of sodium hypochlorite. *Int Endod J* 1982;15:187-96.

-Moritz A, Gutknecht N, Goharkhay K, Schoop U. In vitro irradiation of infected root Canals with a diode laser, results of microbiologic, infracted spectrometric and satín penetration examinations. *Quintessence Int* 1997;28:205- 209.

-Moritz A, Gutknecht N, Schoop U, Goharkhay K, Doertbudak O, SPERR W. Treatment of periodontal pockets with diode laser. *Lasers Surg Med.* 1998;22;302-311.

-Moritz A, Gutknecht N, Schoop U, Goharkhay K, Doertbudak O, Sperr W. Irradiation of infected root canals with a diode laser in vivo: results of microbiological examinations. *Lasers Surg Med* 1997;21:221-6.

-Moshonov J, Orstavik D, Yamauchi S, Pettiette M, Trope M. Nd:YAG laser irradiation in root canal disinfection. *Endod Dent Traumatol* 1995;11: 220-4.

-Munley PJ, Goodell GG. Comparison of passive ultrasonic debridement between fluted and nonfluted instruments in root canals. *J Endod* 2007;33:578-80.

-Myers TD, Myers WD, Stone RM. First soft tissue study utilizing a pulsed Nd:YAG dental laser. *Northwest Dent.* 1989;68:14-7.

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

-Nagayoshi M, Kitamura C, Fukuizumi T, Nishihara T, Terashita M. Antimicrobial effect of ozonated water on bacteria invading dentinal tubules. *J Endod* 2004;30:778–781.

-Naidorf IJ. Clinical microbiology in endodontics. *Dent Clin North Am* 1974;18: 329-44.

-Nair PN, Henry S, Cano V, Vera J. Microbial status of apical root canal system of human mandibular first molars with primary apical periodontitis after “one-visit” endodontic treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2005;99:231-52.

- Nair PN. Pathogenesis of apical periodontitis and the causes of endodontic failures. *Crit Rev Oral Biol Med* 2004;15:348-81.
- Nickel JC, Ruseska I, Wright JB, Costerton JW. Tobramycin resistance of *Pseudomonas aeruginosa* cells growing as a biofilm on urinary catheter material. *Antimicrob Agents Chemother* 1985;27:619-24.
- Nielsen BA, Baumgartner CJ. Comparison of the EndoVac system to needle irrigation of root canals. *J Endod* 2007;33:611-5.
- Nowicki JB, Sem DS. An in vitro spectroscopic analysis to determine the chemical composition of the precipitate formed by mixing sodium hypochlorite and chlorhexidine. *J Endod* 2011;37:983-88.
- Nusstein J. Ultrasonic dental device. Washington, DC: United States Patent 6,948,935; 2005.
- Nygaard Östby B. Chelation in root canal therapy. *Odontol Tidskr* 1957;65:3-11.
- O'Connell MS, Morgan LA, Beeler WJ, Baumgartner JC. A comparative study of smear layer removal using different salts of EDTA. *J Endod* 2000;26:739-43.
- Ørstavik D, Haapasalo M. Disinfection by endodontic irrigants and dressings of experimentally infected dentinal tubules. *Endod Dent Traumatol* 1990;6:142-9.
- Pasqualini D, Cuffini AM, Scotti N, Mandras N, Scalas D, Pera F, Berutti E. Comparative evaluation of the antimicrobial efficacy of a 5% sodium hypochlorite subsonic-activated solution. *J Endod* 2010;1-3.
- Passarinho-Neto JG, Marchesan MA, Ferreira RB, Silva RG, Silva-Sousa YT, Sousa-Neto. In vitro evaluation of endodontic debris removal as obtained by rotary instrumentation coupled with ultrasonic irrigation. *Aust Endod J* 2006;32:123-8.

- Patterson SS. In vivo and in vitro studies of the effect of the disodium salt of ethylenediamine tetra-acetate on human dentine and its endodontic implications. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1963;16:83-103.
- Pesse AV, Warriar GR, Dhir VK. An experimental study of the gas entrapment process in closed-end microchannels. *Int J Heat Mass Transfer* 2005;48:5150-65.
- Peters OA, Boessler C, Zehnder M. Effect of liquid and paste-type lubricants on torque values during simulated rotary root canal instrumentation. *Int Endod J* 2005;38:223-9.
- Peters OA. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *J Endod* 2004;30:559-67.
- Petersson K, Soderstrom C, Kiani-Anaraki M, Levy G. Evaluation of the ability of thermal and electrical tests to register pulp vitality. *Endod Dent Traumatol* 1999;15:127-31.
- Pitt WG. Removal of oral biofilm by sonic phenomena. *Am J Dent* 2005;18:345-52.
- Popescu IG, Popescu M, Man D, et al. Drug allergy: incidence in terms of age and some drug allergens. *Med Interne* 1984;22:195-202.
- Portenier I, Tuomos MT, Waltimo M, Haapasalo MP. *Enterococcus faecalis*—the root canal survivor and 'star' in post-treatment disease. *Endod Top* 2003;6:135–159.
- Prado M, Gusman H, Gomes B, Simao RA. Scanning electron microscopis investigation of the effectiveness of phosphoric acid in smear layer removal when compared with EDTA and citric acid. *J Endod* 2011;37:255-258.
- Pugh RJ, Goerig AC, Glaser CG, Luciano WJ. A comparison of four endodontic vibratory systems. *Gen Dent* 1989;37:296-301.
- Ram Z. Effectiveness of root canal irrigation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1977;44:306-12.

- Ramskold LO, Fong CD, Stromberg T. Thermal effects and antibacterial properties of energy levels required to sterilize stained root canals with an Nd:YAG laser. *J Endod* 1997;23:96-100.
- Reynolds MA, Madison S, Walton RE, Krell KV, Rittman BR. An in vitro histological comparison of the step-back, sonic and ultrasonic instrumentation techniques in small, curved root canals. *J Endod* 1987;13:307-14.
- Richman MJ. The use of ultrasonics in root canal therapy and root resection. *J Med* 1957;12:12-8.
- Robertson DC, Leeb IJ. The evaluation of a transparent tooth model system for the evaluation of endodontically filled teeth. *J Endod* 1982;8:317-21.
- Ruddle CJ. Cleaning and shaping the root canal system. In: Cohen S, Burns RC, eds. *Pathways of the pulp*. 8th ed. St Louis: Mosby, Inc; 2002:231-91.
- Ruddle CJ. Endodontic disinfection: tsunami irrigation. *Endod Practice* 2008. Feb:7-15.
- Ruddle CJ. Microbrush for endodontic use. Washington, DC: United States Patent 6,179,617;2001.
- Russell RG, Rogers MJ. Bisphosphonates: from the laboratory to the clinic and back again. *Bone* 1999;25:97-106. M, Schmidlin P, Sener B, Waltimo T. Chelation in root canal therapyreconsidered. *J Endod* 2005;31:817-20.
- 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;29:674-8.
- Sarbinoff JA, O'Leary TJ, Miller CH. The comparative effectiveness of various agents in detoxifying diseased root surfaces. *J Periodontol* 1983;54:77-80.

- Sarver DM, Yanosky M. Principles of cosmetic dentistry in orthodontics: Part 2. Soft tissue laser technology and cosmetic gingival contouring. *Am J Orthod Dentofac Orthoped*. 2005;127:85-90.

- Schäfer E, Zapke K. A comparative scanning electron microscopic investigation of the efficacy of manual and automated instrumentation of root canals. *J Endod* 2000;26:660-4.

- Schirrmester JF, Liebenow AL, Pelz K, et al. New bacterial compositions in rootfilled teeth with periradicular lesions. *J Endod* 2009;35:169–74.

- Schoeffel GJ. The EndoVac method of endodontic irrigation: part 2—efficacy. *Dent Today* 2008;27:82,84,86-7.

- Seal GJ, Ng YL, Spratt D, Bhatti M, Gulabivala K. An in vitro comparison of the bactericidal efficacy of lethal photosensitization or sodium hypochlorite irrigation on *Streptococcus intermedius* biofilms in root canals. *Int Endod J* 2002;35:268-74.

- Sedgley C, Applegate B, Nagel A, Hall D. Real-time imaging and quantification of bioluminescent bacteria in root canals in vitro. *J Endod* 2004;30:893-8.

- Sedgley CM, Nagel AC, Hall D, Applegate B. Influence of irrigant needle depth in removing bioluminescent bacteria inoculated into instrumented root canals using real-time imaging in vitro. *Int Endod J* 2005;38:97-104.

- Seltzer S, Bender IB, Ziontz M. The dynamics of pulp inflammation: correlation between diagnostic data and actual histologic findings in the pulp. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1963;16:846-71.

- Sen BH, Safavi KE, Spångberg LS. Antifungal effects of sodium hypochlorite and chlorhexidine in root canals. *J Endod* 1999;25:235-8.

- Senia ES, Marshall FJ, Rosen S. The solvent action of sodium hypochlorite on pulp tissue of extracted teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1971;31:96-103.

- Serper A, Ozbek M, Calt S. Accidental sodium hypochlorite-induced skin injury during endodontic treatment. *J Endod* 2004;30:180-1.
- Setlock J, Fayad MI, BeGole E, Bruzick M. Evaluation of canal cleanliness and smear layer removal after the use of the Quantec-E irrigation system and syringe: a comparative scanning electron microscope study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2003;96:614-7.
- Silva LA, Leonardo MR, Assed S, Tanomaru Filho M. Histological study of the effect of some irrigating solutions on bacterial endotoxin in dogs. *Braz Dent J* 2004;15:109-14.
- Sim TP, Knowles JC, Ng YL, Shelton J, Gulabivala K. Effect of sodium hypochlorite on mechanical properties of dentine and tooth surface strain. *Int Endod J* 2001;34:120-32.
- Siqueira JF Jr, Rocas IN. Clinical implications and microbiology of bacterial persistence after treatment procedures. *J Endod* 2008;34:1291-301.
- Sirtes G, Waltimo T, Schaetzle M, Zehnder M. The effects of temperature on sodium hypochlorite short-term stability, pulp dissolution capacity, and antimicrobial efficacy. *J Endod* 2005;31:669-71.
- 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;36:1782-5.
- Sjögren U, Figdor D, Persson S, Sundqvist G. Influence of infection at the time of root filling on the outcome of endodontic treatment of teeth with apical periodontitis. *Int Endod J* 1997;30:297-306.
- Sjögren U, Sundqvist G. Bacteriologic evaluation of ultrasonic root canal instrumentation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1987;63:366-70.
- Skidmore AE, Bjorndal AM. Root canal morphology of the human mandibular first molar. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1971;32:778-84.

- Solovyeva AM, Dummer PM. Cleaning effectiveness of root canal irrigation with electrochemically activated anolyte and catholyte solutions: a pilot study. *Int Endod J* 2000;33:494-504.
- Soukos NS, Chen PS, Morris JT, et al. Photodynamic therapy for endodontic disinfection. *J Endod* 2006;32:979–84.
- 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;36:856-71.
- Spångberg L, Rutberg M, Rydinge E. Biologic effects of endodontic antimicrobial agents. *J Endod* 1979;5:166-75.
- Spoleti P, Siragusa M, Spoleti MJ. Bacteriological evaluation of passive ultrasonic activation. *J Endod* 2003;29:12-4.
- Spratt DA, Pratten J, Wilson M, Gulabivala K. An in vitro evaluation of the antimicrobial efficacy of irrigants on biofilms of root canal isolates. *Int Endod J* 2001;34:300-7.
- Stamos DE, Sadeghi EM, Haasch GC, Gerstein H. An in vitro comparison study to quantitate the debridement ability of hand, sonic, and ultrasonic instrumentation. *J Endod* 1987;13:434-40.
- Stern RH, Sognnaes RF. Laser beam effect on dental hard tissues. *J Dent Res* 1964;43:873.
- Stock CJ. Current status of the use of ultrasound in endodontics. *Int Dent J* 1991;41:175–82.
- Stojicic S, Zivkovic S, Qian W, Zhang H, Haapasalo M. Tissue dissolution by sodium hypochlorite: effect of concentration, temperature, agitation, and surfactant. *J Endod* 2010;36:1558-62.

-Stuart CH, Schwartz SA, Beeson TJ, et al. Enterococcus faecalis: its role in root canal treatment failure and current concepts in retreatment. J Endod 2006;32:93–8.

-Sulewski JG. Historical survey of laser dentistry. Dent Clin North Am 2000;44:717-52.

-Sundqvist G, Figdor D, Persson S, Sjogren U. Microbiologic analysis of teeth with failed endodontic treatment and the outcome of conservative re-treatment. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 1998;85:86 –93.

-Sundqvist G. Taxonomy, ecology, and pathogenicity of the root canal flora. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1994;78:522–30.

-Svec TA, Harrison JW. Chemomechanical removal of pulpal and dentinal debris with sodium hypochlorite and hydrogen peroxide vs normal saline solution. J Endod 1977;3:49-53.

-Tan BT, Messer HH. The quality of apical canal preparation using hand and rotary instruments with specific criteria for enlargement based on initial apical file size. J Endod 2002;28:658–64.

-Tanomaru JM, Leonardo MR, Tanomaru Filho M, Bonetti Filho I, Silva LA. Effect of different irrigation solutions and calcium hydroxide on bacterial LPS. Int Endod J 2003;36:733–9.

-Tay FR, Gu LS, Schoeffel GJ, et al. Effect of vapor lock on root canal debridement by using a side-vented needle for positive-pressure irrigant delivery. J Endod. 2010;36:745-50.

-Test ST, Lampert MB, Ossanna PJ, Thoene JG, Weiss SJ. Generation of nitrogenchlorine oxidants by human phagocytes. J Clin Invest 1984;74:1341–9.

-Thé SD. The solvent action of sodium hypochlorite on fixed and unfixed necrotic tissue. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1979;47:558–61.

-Torabinejad M, Khademi AA, Babagoli J, et al. A new solution for the removal of the smear layer. J Endod 2003;29:170 –5.

-Tronstad L, Barnett F, Schwartzben L, Frasca P. Effectiveness and safety of a sonic vibratory endodontic instrument. *Endod Dent Traumatol* 1985;1:69-76.

-Uroz-Torres D, González-Rodríguez MP, Ferrer-Luque MC. Effectiveness of the EndoActivator system in removing the smear layer after root canal instrumentation. *J Endod* 2010;36:308-11.

-Vahdaty A, Pitt Ford TR, Wilson RF. Efficacy of chlorhexidine in disinfecting dentinal tubules in vitro. *Endod Dent Traumatol* 1993;9:243-8.

-van der Sluis LW, 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;39:472-6.

-van der Sluis LW, Versluis M, Wu MK, Wesselink PR. Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *Int Endod J* 2007;40:415-26.

-van der Sluis LW, Wu MK, Wesselink PR. A comparison between a smooth wire and a K-file in removing artificially placed dentine debris from root canals in resin blocks during ultrasonic irrigation. *Int Endod J* 2005;38:593-6.

-van der Sluis LWM, Wu MK, Wesselink PR. The efficacy of ultrasonic irrigation to remove artificially placed dentine debris from human root canals prepared using instruments of varying taper. *Int Endod J* 2005;38:764-8.

-Vertucci FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1984;58:589-99.

-Wakabayashi H, Hamba M, Matsumoto K, Tachibana H. Effect of irradiation by semiconductor laser on responses evoked in trigeminal caudal neuron by tooth pulp stimulation. *Laser Surg Med* 1993;13:605-10.

-Walker A. A definite and dependable therapy for pulpless teeth. *J Am Dent Assoc* 1936;23:1418-25.

-Walker TL, del Rio CE. Histological evaluation of ultrasonic and sonic instrumentation of curved root canals. *J Endod* 1989;15:49-59.

-Walmsley AD, Lumley PJ, Laird WR. Oscillatory pattern of sonically powered endodontic files. *Int Endod J* 1989;22:125-32.

-Walmsley AD, Murgel C, Krell KV. Canal markings produced by endosonic instruments. *Endod Dent Traumatol* 1991;7:84-9.

-Walmsley AD, Williams AR. Effects of constraint on the oscillatory pattern of endosonic files. *J Endod* 1989;15:189-94.

-Walters MJ, Baumgartner JC, Marshall JG. Efficacy of irrigation with rotary instrumentation. *J Endod* 2002;28:837-9.

-Waltimo TM, Sirén EK, Torkko HL, Olsen I, Haapasalo MP. Fungi in therapy-resistant apical periodontitis. *Int Endod J* 1997;30:96-101.

-Walton RE. Histologic evaluation of different methods of enlarging the pulp canal space. *J Endod* 1976;2:304-11.

-Wang X, Sun Y, Kimura Y, Kinoshita J. Effects of diode laser irradiation on smear layer removal from root canal walls and apical leakage after obturation. *Photomed Laser Surg* 2005; 26:575-81.

-Weise M, Roggendorf MJ, Ebert J, Petschelt A, Frankenberger R. Four methods for cleaning simulated lateral extensions of curved root canals: a SEM evaluation. *Int Endod J* 2007;40:991-2.

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

-Wetter NU, Barroso MC, PELINO JE. Dental bleaching efficacy with diode laser and LED irradiation: an in vitro study. *Lasers Surg Med* 2004;35:254-8.

- Wilson M. Susceptibility of oral bacterial biofilms to antimicrobial agents. *J Med Microbiol* 1996;44:79–87.
- Wollard RR, Brough SO, Maggio J, Seltzer S. Scanning electron microscopic examination of root canal filling materials. *J Endod* 1976;2:98–110.
- Wong R. Conventional endodontic failure and retreatment. *Dent Clin North Am* 2004;48:265-89.
- Wu MK, de Schwartz FB, van der Sluis LW, Wesselink PR. The quality of root fillings remaining in mandibular incisors after root-end cavity preparation. *Int Endod J* 2001;34:613–9.
- Wu MK, Dummer PM, Wesselink PR. Consequences of and strategies to deal with residual post-treatment root canal infection. *Int Endod J* 2006;39:343-56.
- Wu MK, van der Sluis LW, Wesselink PR. A preliminary study of the percentage of gutta-percha-filled area in the apical canal filled with vertically compacted warm gutta-percha. *Int Endod J* 2002;35:527-35.
- Wu MK, Wesselink PR. A primary observation on the preparation and obturation in oval canals. *Int Endod J* 2001;34:137-41.
- Wu MK, Wesselink PR. Efficacy of three techniques in cleaning the apical portion of curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1995;79:492-6.
- Xu Y, Young MJ. Endodontic antimicrobial photodynamic therapy: safety assessment in mammalian cell cultures. *J Endod* 2009;35:1567-72.
- Yamada RS, Armas A, Goldman M, Lin PS. A scanning electron microscopic comparison of a high volume final flush with several irrigating solutions: part 3. *J Endod* 1983;9:137-42.
- Yguel-Henry S, Vannesson H, von Stebut J. High precision, simulated cutting efficiency measurement of endodontic root canal instruments: influence of file configuration and lubrication. *J Endod* 1990;16:418-22.

-Yoshida T, Shibata T, Shinohara T, Gomyo S, Sekine I. Clinical evaluation of the efficacy of EDTA solution as an endodontic irrigant. *J Endod* 1995;21:592-3.

-Zaccaro MF, Antoniazzi JH, Scelsa P. Efficacy of final irrigation. A scanning electron microscopic evaluation. *J Endod* 2000;26:355-8.

-Zamany A, Safavi K, Spångberg LS. The effect of chlorhexidine as an endodontic disinfectant. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2003;96:578-81.

-Zehnder M, Gold SI, Hasselgren G. Pathologic interactions in pulpal and periodontal tissues. *J Clin Periodontol* 2002;29:663-71.

-Zehnder M, Schicht O, Sener B, Schmidlin P. Reducing surface tension in endodontic chelator solutions has no effect on their ability to remove calcium from instrumented root canals. *J Endod* 2005;31:590-2.

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

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