

Efecto de diferentes instrumentos en la deformación apical a nivel del foramen mayor

José Antonio González Sánchez

Dipòsit Legal: B. 25471-2012

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tesisenxarxa.net) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tesisenred.net) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tesisenxarxa.net) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.



Efecto de diferentes instrumentos en la deformación apical a nivel del foramen mayor

Departamento de Restauradora Dental y Endodoncia. Facultad de Odontología
Programa de Doctorado: Doctorado en Odontología
Universitat Internacional de Catalunya

TESIS DOCTORAL

JOSÉ ANTONIO GONZÁLEZ SÁNCHEZ

JULIO 2012

DIRECTOR

Dr. Fernando Durán-Sindreu Terol

CO-DIRECTOR

Dr. Miguel Roig Cayón

Dedicada a Elia,
mis padres José Antonio e Inés,
mi hermano Alejandro
y mi abuelo Ernesto.

“Estoy satisfecho con el misterio de la eternidad de la vida con el conocimiento, el sentido, de la maravillosa estructura de la existencia. Con el humilde intento de comprender, aunque más no sea una porción diminuta de la Razón que se manifiesta en la naturaleza”

A. Einstein (1987-1955)

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTOS

Es muy difícil dar las gracias cuando hay mucho que agradecer. En primer lugar quiero agradecer al Dr. Fernando Durán, ya que él fue el que me animó, hace ya algunos años en un viaje a Estambul, a emprender el camino que ha dado como resultado la realización de esta Tesis doctoral. Además ha sido guía, compañero y amigo durante todo el proceso animando y ayudando a partes iguales para que el trabajo pudiera salir adelante. Gracias por enseñarme el valor de la investigación, por saber leer y criticar los estudios científicos y por plantearme las dudas cuando yo pensaba que ya no había. También quiero agradecer a mi otro director de la tesis, el Dr. Miguel Roig por la ayuda prestada, por la confianza que puso en mi y por las imprescindibles correcciones que me ha realizado.

Gracias a Elia, por todo el apoyo que me ha dado y por todo el tiempo que le he privado a cambio de dedicárselo a ésta investigación. Dicen que siempre hacen falta dos mitades para conseguir algo grande, y en éste caso es totalmente cierto ya que sin esta mitad no hubiera podido salir adelante el proyecto. Gracias por tu templanza, ánimos y comprensión.

Gracias a mi padres, José Antonio e Inés por fomentar siempre el estudio, animando, orientando y aconsejando, siendo un ejemplo en el que intentar reflejarme y que hoy queda plasmado con la terminación de esta tesis. Gracias por enseñarnos que el esfuerzo y la constancia son los gérmenes de las cosas importantes.

Gracias a mi hermano Alejandro, quien seguro será un brillante ingeniero, por sus conocimientos que en su día nos dieron luz a la hora de determinar como analizábamos lo que nadie había analizado aún.

Gracias a todos los co-autores de los artículos que se han plasmado en esta tesis doctoral. Gracias Tauca por empezar este camino hace muchos años, por toda la ayuda que siempre me has prestado y por todo el legado que me dejaste. Gracias

Miguel por iniciar el camino conmigo ayudándome cuando publicar era una utopía y nosotros lo intentamos y conseguimos. Gracias Sergio Morelló porque desde el primer momento nos mostraste un apoyo incondicional y que demostraste hasta el final del proyecto. Gracias Montse, por estar siempre ayudando y controlando y por tu gusto por las cosas bien hechas.

Gracias Susana, por todas las horas y días que hemos pasado en el laboratorio y que gracias a tu ayuda se han hecho mas llevaderas, por esos cafés y esas discusiones científicas de las que tantas conclusiones sacábamos. Has sido un pilar fundamental de ésta investigación y gracias a tu perfeccionismo y constancia pudimos ir avanzando y sacando el trabajo.

Gracias a Marc y Eva, que como buenos compañeros de fatigas, habéis sido un gran apoyo en los momentos finales. Mucha suerte a los dos.

Gracias a mis amigos Edu, Martín, Monchu, Raúl, Javi,... por estar siempre pendientes. Gracias Juan Bautista por enseñarme el valor que tiene la investigación y la tesis doctoral.

Gracias a mis alumnos y mis compañeros de la Universidad Internacional de Catalunya Francesc, Pablo, Paula, Anais, Karem, Violeta, Gonzalo, Ramiro, Jordi, Miguel, Marta,...., porque todos habéis ayudado de una u otra manera, con ideas y eternos ánimos. Mucha suerte y mucho ánimos porque seguro que os veré a todos presentar vuestras Tesis.

Gracias a mi familia y a todos los que me habéis ayudado y apoyado, ya que sin vosotros ésta tesis doctoral no hubiera sido posible.

"El que da, no debe volver a acordarse; pero el que recibe nunca debe olvidar."

(Proverbio Hebreo)

ÍNDICE

ÍNDICE

ÍNDICE

JUSTIFICACIÓN	11
1. INTRODUCCIÓN	15
1.1 OBJETIVOS BIO-MECÁNICOS DE LA INSTRUMENTACIÓN	16
1.1.A PULPAS VITALES	19
1.1.B PULPAS NECRÓTICAS Y RETRATAMIENTOS	21
1.2 PERMEABILIDAD APICAL	22
1.3 LONGITUD DE TRABAJO	27
2. OBJETIVOS	33
2.1 OBJETIVOS GENERALES	35
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	35
3.HIPÓTESIS	37
3.1 HIPÓTESIS NULAS	39
3.2 HIPÓTESIS ALTERNATIVAS	39
4. ARTÍCULOS PUBLICADOS	41
4.1 APICAL TRANSPORTATION CREATED USING THREE DIFERENT PATENCY INSTRUMENTS	43
INTRODUCTION	46
MATERIAL Y METHODS	47
RESULTS	48
DISCUSION	51
CONCLUSION	53
REFERENCES	54
4.2 CENTRING ABILITY AND APICAL TRANSPORTATION AFTER OVER- INSTRUMENTATION WITH PROTAPER UNIVERSAL AND PROFILE VORTEX INSTRUMENTS	57
INTRODUCTION	61
MATERIAL AND METHODS	64
RESULTS	70
DISCUSSION	73
CONCLUSION	77
REFERENCES	77

4.3 LIMA DE PERMEABILIDAD: CAPACIDAD DE CENTRADO Y DEFORMACIÓN. ESTUDIO IN VITRO	85
INTRODUCCIÓN	89
MATERIAL Y MÉTODOS	90
RESULTADOS	93
DISCUSIÓN	95
CONCLUSIONES	98
BIBLIOGRAFÍA	98
5. DISCUSIÓN	109
5.1 DISCUSIÓN DE METODOLOGÍA	111
5.1.1 SELECCIÓN DE LA MUESTRA	111
5.1.2 REGISTRO DE IMÁGENES	111
5.1.3 TRANSPORTE Y CAPACIDAD DE CENTRADO	112
5.1.4 VALIDACIÓN Y TOLERANCIA DE LAS IMÁGENES	113
5.2 PERMEABILIDAD APICAL Y DEFORMACIÓN	114
5.3 SOBRE-INSTRUMENTACIÓN Y DEFORMACIÓN	119
6. CONCLUSIÓN	125
7. BIBLIOGRAFÍA	129
8. ANEXOS	141
ANEXO1: APROVACIÓN PROYECTO DE TESIS	155
ANEXO2: COMUNICACIÓN ACEPTACIÓN ARTÍCULOS IEJ	159
ANEXO3: TABLAS DE MEDICIONES DEFORMACIÓN Y CAPACIDAD DE CENTRADO	163
ANEXO4: TABLAS DETERMINACIÓN FORMA DEL FORAMEN MAYOR	183
ANEXO 5: ARTÍCULOS ORIGINALES PUBLICADOS EN IEJ	190

JUSTIFICACIÓN

JUSTIFICACIÓN

La preparación del sistema de conductos es una de las fases más importantes del tratamiento endodóntico. Uno de los debates más importantes en endodoncia es el punto en el que debemos de terminar nuestra preparación mecánica, es decir, cual debe de ser la longitud de trabajo a la que deberemos de instrumentar los conductos.

Los estudios clásicos han señalado que los conductos radiculares se estrechan cuando se aproximan al ápice y después se expanden para formar el foramen apical. La porción más estrecha es denominada como constricción apical. Esta zona generalmente está localizada en la unión del cemento con la dentina y la distancia al foramen varía de 0.5 a 1mm. Tradicionalmente se ha señalado la constricción apical como la zona en la que debemos de terminar la preparación químico-mecánica. Sin embargo, en diversas ocasiones los instrumentos endodónticos son utilizados a una longitud superior y atraviesan el foramen mayor, ya sea por errores durante la práctica endodóntica o por la técnica utilizada.

Técnicas como la descrita por S. Buchanan defienden el uso de la lima de permeabilidad para mantener el foramen libre de detritus y así evitar posibles errores de procedimiento como escalones o perforaciones y facilitar la llegada de los irrigantes a las porciones más apicales del conducto. Diversos estudios han valorado los efectos que la lima de permeabilidad tiene sobre los tejidos peri-apicales, o sobre la preparación, pero solo encontramos un artículo en la literatura sobre la deformación producida por la lima de permeabilidad a nivel del foramen mayor.

Actualmente la longitud de trabajo se calcula por medio de los localizadores electrónicos de ápices, sin embargo, éstos no poseen una precisión exacta y en ocasiones pueden marcarnos una longitud de trabajo aumentada, lo que puede dar lugar a sobre-instrumentación. La sobre-instrumentación ha sido

considerada tradicionalmente como un error en la preparación de los conductos radiculares. La La sobre-instrumentación del foramen mayor puede producirse por errores en el cálculo en la longitud o por mala praxis durante la instrumentación. No encontramos ningún estudio en la literatura en la que se analice a nivel del foramen mayor los cambios morfológicos producidos por la sobre-instrumentación.

Esta tesis doctoral se configura como un compendio de tres artículos y se basa en la evaluación de la deformación que se produce a nivel del foramen mayor cuando utilizamos los instrumentos endodónticos mas allá de la longitud de trabajo, cuando sobrepasan el foramen mayor, ya sea al realizar la permeabilidad apical o como causa de una sobre-instrumentación mecánica.

Los objetivos de nuestro estudio fueron: en primer lugar evaluar la deformación apical a nivel del foramen mayor, producido por el uso de lima K-flex#08, ensanchador #15, espaciador XF, lima K#10 y lima C-Pilot#10 cuando son utilizados como lima de permeabilidad. En segundo lugar se evaluó la deformación a nivel del foramen mayor después de realizar una sobre-instrumentación con las limas rotatorias Protaper Universal® y Profile Vortex®.

Los hallazgos concluyeron que las lima K-flex#08 no produce deformación apical en la mayoría de los casos. Además las limas K#10 y C-Pilot#10 pueden ser utilizadas de forma segura para realizar la permeabilidad ya que la deformación producida por ambas es mínima. Sin embargo todas las limas rotatorias de níquel-titanio analizadas produjeron deformación apical.

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con un antiguo axioma en endodoncia, lo que es removido del conducto radicular es más importante que lo que es introducido en él (1). Sin minimizar la importancia que tiene la obturación en el correcto tratamiento de endodoncia, hay que remarcar que la fase de preparación del conducto es la que indiscutiblemente es más compleja y más delicada.

Durante años, la preparación de los conductos ha sido descrita con una gran variedad de nombres (“ensanchamiento”, “preparación mecánica”, “instrumentación”). Sin embargo el fin de la “preparación” es reproducir en el conducto radicular la forma del instrumento que es usado. En la endodoncia moderna, en la que se enfatiza mucho la relación con los problemas anatómicos y biológicos, “limpieza y conformación” son conceptos mas correctos².

Schilder estableció que es necesario el mantenimiento tridimensional del conducto original en la conformación final (1). Para completar este requerimiento debemos considerar algunos aspectos mecánicos: a) una conicidad continua y progresiva, b) una preparación multiplanar, c) no transportar el foramen y d) mantener el foramen en su posición original³.

El éxito del tratamiento endodóntico depende de que se cumplan unos objetivos de limpieza, conformación y obturación (4-7). Para conseguir dichos objetivos es importante tener en cuenta la compleja anatomía del sistema de conductos (8,9) y las características de los objetivos técnicos y biológicos de la limpieza y conformación.

Técnicamente, el objetivo de la instrumentación e irrigación es remover todo el tejido necrótico y vital y dar al conducto una forma que permita el fácil desbridamiento y una predecible colocación de medicamentos y materiales de obturación.

Biológicamente, el objetivo de la instrumentación e irrigación es remover y eliminar los microorganismos en el sistema de conductos radiculares, y neutralizar cualquier potencial antigénico/biológico. En los casos en los que una completa erradicación del complejo radicular no pueda completarse, la instrumentación y la irrigación deberán crear las condiciones optimas para la colocación de un material de obturación que evite el crecimiento o proliferación bacteriana (10).

Al mismo tiempo, los procedimientos deben de evitar cualquier iatrogenia, como fracturas de los instrumentos, creación de escalones, transportes o perforaciones de los conductos. Un gran número de estudio en dientes extraídos y conductos simulados han demostrado que los sistemas rotatorios de Níquel Titanio, han conseguido dar forma al conducto de manera mas rápida, centrada y redondeada que los instrumentos de acero inoxidable (11).

1.1 Objetivos Bio-Mecánicos de la Instrumentación:

Schilder enfatizó la necesidad de la limpieza del conducto radicular, removiendo todo el tejido orgánico de su interior con instrumentos y abundante irrigación, y acuñó el axioma “lo que removemos es tan importante como lo que introducimos”.

Schilder estableció cinco conceptos de diseño (1):

- I. Conicidad continua desde el ápice hasta la cavidad de acceso.
- II. El diámetro de la sección transversal debía ser mas pequeño cuanto mas apical.
- III. La preparación debía ser acorde a la forma original
- IV. El foramen apical debía de permanecer en su posición original
- V. La abertura apical debía de ser conservada tan pequeña como fuera posible.

Y cuatro objetivos biológicos:

- I. Confinamiento de los instrumentos a las raíces
- II. No forzar tejidos necróticos a través del foramen
- III. Remover todos los tejidos del espacio del conducto radicular
- IV. Creación de suficiente espacio intra-conducto para la colocación de medicamentos

En las últimas décadas han sido desarrollados muchos instrumentos, pero pocos han sido capaces de conseguir de forma consistente éstos objetivos (12). Desde la última década del siglo XX se ha popularizado la preparación de conductos radiculares mediante el uso de instrumentos de níquel-titanio (Ni-Ti), los cuales presumiblemente facilitan el proceso y reducen el tiempo consumido durante la conformación, proporcionan una mayor calidad de tratamiento y además son de dos a tres veces más flexibles que los de acero inoxidable y tienen una mayor resistencia a la fractura por torsión (13). Los instrumentos de Ni-Ti han demostrado ser capaces de mantener el conducto centrado en casos de curvaturas severas (14-16). Sin embargo a pesar de los resultados positivos, los fabricantes continúan introduciendo nuevos sistemas con diferentes diseños y conicidades con el fin de hacer instrumentos más seguros y que se acerquen más o los principios descritos por Schilder.

Se han sugerido a lo largo de la literatura varios diseños de conicidad, espiras, surcos y puntas (17). De acuerdo con Bergmans y Yang (18), debemos de clasificar los instrumentos para que sean más conservadores en cuanto a su conicidad, pudiendo ser progresiva o constante. Los instrumentos con conicidad progresiva pueden conformar el conducto más rápidamente (19). Dentro de estos, los instrumentos con una conicidad creciente (p. ej. Shaping files del sistema Protaper Universal®) aumentan su flexibilidad en la región media y en la punta. Por contra los instrumentos con una conicidad decreciente (p. ej. Finishing files del sistema Protaper Universal®) proporcionan una mayor conicidad en la región apical pero los hace más rígidos (20-22).

El principal parámetro para evaluar una técnica o un instrumento es la capacidad que tiene el mismo de “conformar el conducto protegiendo la curvatura del mismo” (23) y “la adecuada limpieza de las paredes del conducto”. La curvatura de los conductos fue apreciada en un principio en base al ángulo de curvatura (24) y se dividieron los conductos en rectos (5º y menos), moderados (10 a 20º) o severos (mayor a 20º). Mas tarde se propuso que el radio de curvatura debía de ser considerado junto al ángulo de curvatura (25), estableciéndose una relación inversamente proporcional entre ambos. Por tanto a la hora de abordar un caso debemos de tener en cuenta por una lado el tipo de instrumento que vamos a utilizar (valorando que el instrumento o sistema de instrumentos sean seguros (26)) y la severidad de la curvatura de la raíz, valorando tanto el ángulo como el radio de curvatura de la misma (27).

Hay literatura actual que soporta que la preparación biomecánica de los conductos curvos debe de ser llevada a cabo con instrumentos de Ni-Ti de elevada conicidad y pequeños diámetros apicales (ISO 20, 25 o 30)(28), permitiendo la compactación del material de obturación con la menor cantidad de extrusión (29). A pesar de las ventajas de la fase de obturación, desde un punto de vista biológico hay propuestas en contra, ya que la preparación apical de los conductos infectados es un punto crítico y que requiere de un control de desinfección exquisito. Por ello encontramos literatura que sustenta la filosofía de preparaciones con grandes tamaños apicales y conicidades moderadas (30,31).

La región apical es un punto clave durante la instrumentación. La acción de las espiras de los instrumentos rotatorios en esta zona debe ser evaluada mas ampliamente. Debemos asumir que un instrumento que trabaje a una longitud de trabajo extendida, mas allá del conducto, puede crear un error de preparación conocido como “zip” apical (32) o desgarró apical (33). La incidencia de errores de preparación apical ha sido relacionada con instrumentos manuales y rotatorios con puntas afiladas (34,35). La formación de “zips” y “elbows” y otros errores como escalones, perforaciones laterales, o adelgazamiento excesivo de las paredes tienen en común que pueden tratarse del resultado del transporte del

conducto. El transporte ha sido definido y calculado de diversas maneras, pero puede ser definido como cualquier variación indeseable del trayecto natural del conducto.

Uno de los puntos más controvertidos en el tratamiento de conductos radiculares es el lugar en el que debemos de terminar nuestra preparación químico-mecánica. Esta es una discusión importante, ya que como es obvio, la respuesta de los tejidos periapicales a los procedimientos intra-radiculares está influenciada por la longitud de trabajo de la preparación. Aparentemente, mientras el punto de terminación de los procedimientos en el conducto no tiene una influencia significativa en el desarrollo de un dolor post-operatorio (excepto en casos de sobre-instrumentación), parece ser determinante para el éxito del tratamiento, y aquí reside el mayor punto de controversia. Además el hecho de que la anatomía de cada conducto es única, conlleva que cualquier estandarización pueda llevarnos a errores.

Por otro lado, en cualquier discusión sobre longitud de trabajo e instrumentación deben considerarse las condiciones patológicas del conducto. En nuestro día a día encontraremos tres condiciones: pulpas vitales, pulpas necróticas y retratamientos. La mayor diferencia entre ellas reside en que en los casos de pulpas vitales encontramos ausencia de infección, mientras en los casos de necrosis y retratamientos se presentan cambios microbiológicos, y por tanto deben de ser tratadas apropiadamente.

1.1.A Pulpas Vitales:

Ricucci (36) afirmó que el resultado ideal del tratamiento de conductos es el cierre del foramen apical por tejido duro. Estudios en animales han descrito los procedimientos que pueden favorecer la reparación peri-radicular de los tejidos asociados y la aposición de cemento para sellar el foramen apical (37,38). Sin embargo el sellado apical biológico mediante la formación de tejido duro no siempre es completa y predecible(39) y es cuestionable si puede ser alcanzado en la mayoría de los casos. La ausencia de inflamación en los tejidos peri-

radiculares se podría señalar como importante para lograr el éxito biológico. Desde el punto de vista clínico el éxito estaría caracterizado por la ausencia de lesión radiográfica detectable, acompañada por la ausencia de signos y síntomas de infección tales como dolor, hinchazón o drenaje (40). Sin embargo la curación clínica no necesariamente tiene que estar relacionada con la histológica, y así la inflamación residual sin clínica y sus consecuencias aun no se han dilucidado.

En los casos de pulpas vitales algunos autores recomiendan realizar la instrumentación hasta 1mm del final del conducto para mantener la vitalidad del tejido pulpar apical (muñón pulpar o “pulp stamp”), el cual puede tener un papel importante en la reparación tisular. Estudios que se han realizado manteniendo vital esta porción han demostrado un proceso de curación natural que cursa comúnmente con formación de tejido duro y cierre apical, incluso cuando los chips de dentina han sido empaquetados contra esta porción (41). Sin embargo, el mantenimiento de un tejido apical vital no se aconseja ya que el resultado no es predecible, y la evidencia indica que no es primordial para que tenga lugar la reparación apical (42), siendo mas importante la correcta asepsia del conducto radicular y la salud de los tejidos periapicales. Además estudios llevados a cabo en perros revelaron que la ampliación del foramen apical con la eliminación del “pulp stamp” fue seguido por un crecimiento interno en los conductos del tejido perirradicular, a veces asociado con la deposición de tejido similar al cemento sobre las paredes del conducto (43,44). Según señalan algunos autores, la sobre-extensión debe ser evitada, ya que puede predisponer al dolor postoperatorio (45). Numerosos estudios recomiendan que la longitud de trabajo en pulpas vitales sea de 1-2mm por debajo del ápice radiográfico. El uso de lima de permeabilidad esta recomendado para la limpieza del foramen apical, manteniéndolo libre de detritus, sin ampliarlo. Sin embargo el precio a cambio puede ser la eliminación de la pulpa mas apical (“pulp stamp”). Desde el punto de vista biológico parece que no importa si esta porción mas apical es eliminada por el uso de la lima de permeabilidad, ya que la entidad principal responsable de la curación apical son los tejidos perirradiculares (46-48).

1.1.B Pulpas Necróticas y Retratamientos

En los casos de pulpas necróticas y retratamientos encontramos microorganismos que pueden estar en la parte apical del conducto o cerca del foramen apical, en estrecho contacto con los tejidos peri-radicales(47). En estas situaciones la longitud de trabajo es crítica(49,50), y es razonable suponer la correcta limpieza del conducto hasta su término. Sin embargo se debe de tener en cuenta el riesgo que supone la limpieza en el área final, por la posibilidad de forzar restos de tejidos y materiales infectados hacia los tejidos periapicales. Los microorganismos predominantes en el área apical suelen ser anaerobios(50) y poseen una alta patogenicidad.

El límite apical ideal de la preparación químico-mecánica sería llegar hasta el extremo del conducto radicular, para intentar eliminar o reducir lo máximo posible el recuento microbiano.

Durante la instrumentación de los conductos radiculares se producen detritus que pueden contener microorganismos y que pueden ser empaquetados o extruidos al periápice. El empaquetamiento puede reducir la longitud de trabajo e impedir la curación por la presencia de microorganismos residuales, además la dentina infectada que es expulsada al periápice puede ser responsable de una inflamación persistente peri-radicular y el consiguiente fracaso en el tratamiento(51). La experiencia clínica ha demostrado que la permeabilidad con limas de pequeño calibre nos asegura el mantenimiento de la longitud de trabajo y permite que el foramen se mantenga libre previniendo la acumulación de detritus que, particularmente en presencia de microorganismos, pueden suponer un riesgo para el tratamiento.

Las razones para el mantenimiento de la permeabilidad apical durante la preparación de dientes infectados está basada en factores mecánicos y biológicos. Desde el punto de vista mecánico, cuando un instrumento prepara el conducto radicular hasta su término y es utilizado repetidamente hasta ese punto, el riesgo de accidentes teóricamente se reduce, ya que se previene la

acumulación de desechos en esta área crítica. Este principio también es aplicable a dientes sin infección. Desde un punto de vista biológico, el uso de la lima de permeabilidad aumenta la desinfección y limpieza de toda la extensión del conducto, eliminando los microorganismos y previniendo la acumulación de detritus infectados en estas áreas. Si restringimos los procesos de limpieza y conformación a 1-2mm cortos del foramen apical, podemos dejar suficientes microorganismos para mantener la infección peri-radicular. Teóricamente el uso de la lima de permeabilidad puede ayudarnos a la eliminación de éstos microorganismos.

La permeabilidad es un concepto reciente en endodoncia en el que numerosos autores e investigadores han hecho hincapié.

1.2 Permeabilidad Apical

El concepto de permeabilidad apical fue introducido por Buchanan (52,53) en 1989. Consiste en utilizar una lima de pasaje apical (LPA) para mantener abierta la luz de la constricción apical, sin ensancharla, sólo permitiendo que ésta sea permeable. La lima utilizada será de calibre pequeño (06, 08 ó 10), que se hace pasar de forma pasiva a 0,5mm más allá del foramen apical sin ensancharlo. Según este autor, si no se confirma la permeabilidad apical existe una gran posibilidad de quedar cortos, largos o bloqueados; con la LPA se facilita también que la solución irrigadora alcance la zona final del conducto. Muchas escuelas de endodoncia en Estados Unidos enseñan alguna forma de permeabilidad en sus programas de educación (en 1997 aproximadamente el 50% de las escuelas de USA (54)) y trabajo, sin embargo, sólo 3 escuelas requieren instrumentación y obturación hasta el ápice radiográfico (7,55).

La permeabilidad esta definida en el glosario de términos de la Asociación Americana de Endodoncia como “técnica de preparación de conductos en la que

la porción apical del conducto se mantiene libre de detritus mediante la recapitulación con una lima de pequeño calibre a través del foramen apical”.

La literatura endodóntica se ha referido extensamente a el concepto de lima de pasaje (56,57). Frecuentemente el concepto de “permeabilidad” ha sido relacionado con “limpieza apical”, esto es debido a que estos dos procedimientos en ocasiones no son bien entendidos, por ello es esencial establecer diferencias entre ellos. La permeabilidad apical como tal solo se refiere al paso de una lima de pequeño tamaño mas allá de los confines del conducto radicular en un esfuerzo por prevenir el bloqueo del foramen como resultado de la formación de detritus dentinarios durante los procedimientos de instrumentación. Esta técnica asegurará una correcta limpieza de la porción mas apical ya que permitirá la llegada de los irrigantes y el material de obturación.

El uso de limas de pequeño calibre propicia virtualmente que no haya contacto entre el instrumento y las paredes del conducto, pero su que permite la llegada de los irrigantes, con lo cual podemos introducir el concepto de “limpieza apical”. Este procedimiento debe de ser muy meticuloso, ya que el uso de una lima que produzca una conformación apical puede originar la creación de detritus, que podrían ser expulsados a la región perirradicular (10).

Según algunos autores la permeabilización apical no afectará negativamente a los tejidos periapicales, ya que éstos poseen una rica circulación colateral y potencial de curación. Según estos autores es lógico asumir que el paso de una lima pequeña, de forma pasiva y en muy poca longitud a través del foramen apical, no comprometerá el resultado o predispondrá a cualquier anomalía irreversible⁵⁸, además la posibilidad de realizar la permeabilidad apical ha sido señalado como un factor de pronóstico favorable(59).

El uso de la lima de permeabilidad aporta muchas ventajas:

- 1. Establecimiento y mantenimiento del “Glide Path”:** El mantenimiento de un paso despejado (“glide path” en la literatura anglosajona), significa tener un acceso libre en nuestra preparación que se extiende desde coronal hasta apical y que es reproducible con el uso de las sucesivas limas utilizadas en el conducto. El uso de la lima de pasaje asegura la remoción del detritus creado por el uso de la instrumentación dejando el camino libre y previniendo el empaquetamiento apical o lateral.
- 2. Facilitar la medición de la longitud de trabajo:** El uso de los localizadores de ápice permiten una medición precisa de la longitud del conducto radicular (60,61). Algunos autores han sugerido que para aumentar la precisión en la lectura de los localizadores de ápices, la lima debe de ser protruida a través del foramen mayor y después ser retraída hasta la constricción apical (62).
- 3. Brinda conocimientos al clínico de la anatomía apical:** Seguidamente del pre-ensanchamiento del tercio coronal del conducto radicular, la lima de pequeño calibre tendrá fácil acceso a la región apical, permitiendo al clínico tener una sensación tridimensional de la anatomía y las curvaturas de los milímetros finales que frecuentemente no pueden ser bien evaluados con el uso de radiografías convencionales (p.ej. la curvatura apical hacia vestibular en la raíz palatina de los primeros molares maxilares).
- 4. Evitar la producción de bloqueos apicales y la pérdida de la longitud de trabajo:** La inserción de instrumentos de grandes diámetros en el tercio apical de los conductos radiculares puede producir un empaquetamiento de contenido pulpar, restos dentinarios y otros contenidos del conducto radicular en la porción mas estrecha del conducto (8,9). Todo estos restos pueden quedar compactados en el

tercio apical, siendo imposibles de remover, dando lugar a posteriores complicaciones iatrogénicas como escalones, transportes o perforaciones (9,63). Prevenir el bloqueo es esencial para el acceso a las porciones más profundas del conducto y conseguir por tanto la eliminación de tejido orgánico y contaminante de estas zonas. La lima de permeabilidad es esencial para prevenir la acumulación de detritus en el conducto, mantener la anatomía original del conducto y permitir el acceso de las soluciones irrigantes a la porción apical (2). Sin embargo, en caso de pulpas vitales algunos autores han postulado el mantenimiento de la vitalidad del tejido conectivo localizado en la porción cementaria del conducto para permitir el cierre biológico apical y la neoformación de cemento (64,65).

- 5. Disminución de la sensibilidad post-operatoria:** El uso de la lima de permeabilidad facilita que los desechos y los microorganismos empaquetados en el tercio apical no sean trasladados más allá de los confines del conducto radicular, hacia el área periapical (66). La extrusión apical de detritus y microorganismos es posiblemente una de las principales causas de dolor post- operatorio, ya que forzar la salida de los mismos hacia la región perirradicular pueden generar una reacción inflamatoria aguda, cuya intensidad dependerá del número y virulencia de los microorganismos y sus bio-productos. Una de las razones esgrimidas para la no utilización de la lima de permeabilidad es que puede desplazar detritus a través del foramen, sin embargo Izu y cols. (67) han demostrado que la contaminación de la lima de permeabilidad puede ser desinfectada con el NaOCl al 5,25% presente en el interior del conducto después de la irrigación. Por lo tanto podemos descartar el dolor postoperatorio resultante de la lima de permeabilidad (63).
- 6. Mejorar la irrigación en el tercio apical:** La preparación químico - mecánica del conducto radicular es un paso esencial. Su mayor propósito debe ser eliminar el tejido orgánico y reducir la carga microbiana (10), sin embargo conseguir este objetivo completamente en todas las áreas del

entramado radicular es muy difícil debido a la gran complejidad del sistema (68), especialmente en la parte final (69). El tercio final de los conductos radiculares posee el mayor número de variaciones, incluyendo deltas apicales, conductos laterales y conductos recurrentes (70). En ellos se han encontrado microorganismos que sobreviven colonizando tejidos orgánicos y dentina, y pueden obtener nutrientes desde los tejidos periradiculares, creando subproductos asociados con el desarrollo de periodontitis apicales (24, 71). Buchannan sugirió que el uso de la lima de permeabilidad antes de cada irrigación con el objetivo de prevenir la posible organización de detritus (72). El irrigante más usado en endodoncia es el hipoclorito de sodio (NaOCl)(73). La penetración del mismo en el tercio apical está influenciada, además de por la anatomía interna, por el modo de irrigación, el volumen de solución, las propiedades físicas y químicas del irrigante y por la presencia de burbujas de aire (“vapor lock”) (74). Recientemente Vera y cols. (75), han demostrado que el mantenimiento de la permeabilidad mediante una lima K de calibre 10 permite la llegada de los irrigantes al tercio apical de conductos radiculares en humanos cuando se usa en combinación con irrigación ultrasónica pasiva para agitar el irrigante en el interior del conducto.

Sin embargo, en la bibliografía encontramos varios autores que han ocupado posiciones en contra a dicha técnica (76) alegando la posible extrusión de microorganismos y desechos (77) a través del foramen apical, condición relacionada clásicamente con el dolor postoperatorio. Algunos piensan que el paso repetido de una lima a través del foramen (aunque ésta sea de pequeño calibre), puede provocar por sí misma una respuesta inflamatoria aguda (8) y dolor postoperatorio severo (5). El procedimiento de la lima de pasaje no se enseña en la mitad de las escuelas de EEUU, argumentando que la misma puede incrementar el desplazamiento de detritus y la consecuente irritación del ligamento periodontal, sin conllevar a una mejor curación (54). Holland et al. (78) estudiaron el proceso de curación periapical en dientes de perro con o sin permeabilidad y después de la obturación con dos tipos de cemento, y

obtuvieron una mejor curación en el grupo en que no se había utilizado la lima de permeabilidad. Tsesis y cols. (79) encontraron que mantener la permeabilidad apical no reducía el transporte apical o tenía un efecto en la pérdida de la longitud de trabajo en raíces con curvaturas, sin embargo, obtuvieron menos casos de transporte y de pérdida de la longitud de trabajo en los dientes en los que se habían utilizado la lima de permeabilidad.

Otros autores han señalado que el mantenimiento de la permeabilidad no causará mas problemas post-operatorios, y sus beneficios exceden las posibles lesiones que podrían causar (80), ya que ayudan al mantenimiento de la longitud de trabajo (81). Además Arias y cols. no encontraron diferencias significativas en la duración del dolor postoperatorio en dientes con pulpas vitales y concluyeron que el uso de limas de tamaño 10 para realizar la permeabilidad apical compensa su utilización a pesar de una eventual duración del dolor postoperatorio en ciertos casos (dientes inferiores no vitales y dientes con síntomas preclínicos), aunque éste nunca fue superior a 72 horas. Debemos de tener en cuenta que la endodoncia es un tratamiento que producirá una inflamación, lo que es una reacción fisiológica, cuyo pico máximo se alcanza de 48 a 72 horas (82).

Una de las mayores controversias en el tratamiento de conductos radiculares es el límite apical de la instrumentación y la obturación, y para ello se han llevado a cabo un gran número de estudios anatómicos e histológicos (36, 83). Podemos afirmar que la extensión apical de los procedimientos de limpieza, conformación y obturación es uno de los temas que han resultado más controvertidos en endodoncia en los últimos tiempos.

1.3 Longitud de trabajo

En el año 1955 Yury Kuttler (84) realizó un estudio en el que encontró que los conductos radiculares normalmente se estrechan cerca del ápice y después se expanden para formar el foramen apical. La parte mas estrecha del conducto

forma la constricción apical, la cual esta localizada antes del foramen. Esta área está considerada la unión cemento-dentinaria, y la distancia al foramen varia de 0,5mm. a 1mm. En mas de un 60% de los dientes, el foramen apical no está localizado en el ápice, y la distancia entre ambos varía entre 0 a 3mm (55, 64). Kuttler informó que la distancia media de la constricción apical al foramen era de 0,48mm en individuos jóvenes y 0,6mm en individuos de avanzada edad. Tradicionalmente, la constricción apical ha sido considerada como el punto de terminación ideal para los procedimientos de conformación (85). Sin embargo la localización de la unión amelo-cementaria es complicada. El ápice radicular es visible radiográficamente, por tanto ha sido ampliamente utilizado como una referencia para establecer la longitud de trabajo, recomendando una longitud estimativa de 0,5-1mm corto del ápice radiográfico. En un estudio de El Ayouti se demostró que la longitud de trabajo fue sobre-estimada en mas del 50% de los premolares y del 22% de molares, aunque la longitud de trabajo estaba localizada a 0-2mm del ápice radiográfico.

Otros métodos propuestos para el cálculo de la longitud de trabajo han sido la sensación táctil y el uso de puntas de papel (53), pero éstos son imprecisos y empíricos.

En los últimos años se han utilizado los localizadores electrónicos de ápices (LEA), para la determinación del término del conducto radicular, presentando un grado satisfactorio de precisión y fiabilidad (86). Los LEA disponibles en el mercado analizan los valores de impedancia simultáneamente en varias frecuencias, y se ha reportado que tienen una precisión de 0,5mm del foramen apical en mas del 90% de los casos (60, 61, 87) independientemente del diagnóstico pulpar. Sin embargo diversos autores recomiendan la realización de una radiografía después de la lectura del localizador de ápices para reducir la sobre-instrumentación (88-90).

La verificación radiográfica de la longitud de trabajo estimativa es aconsejable porque en algunas situaciones los LEA pueden dar lecturas erróneas. Esta disfunción (inconsistencia) puede ser reconocida en ocasiones porque la escala

del display del localizador es inestable o no es visible hasta el final (89). Los factores clínicos que pueden influenciar el funcionamiento del localizador aun no están claros.

Actualmente hay controversia sobre si los LEAs son capaces de determinar la constricción apical o el foramen mayor. De acuerdo al fabricante,, cuando el localizador de ápices Root ZX (Morita Corp. Japón) presenta una lectura de 0.5, indica que la punta del instrumento se encuentra en la constricción apical. Muchos consideran el punto de referencia para comprobar los localizadores, el método in vivo/in vitro de Shabahang (91), el cual usó la lectura de 0.5 en la prueba de precisión del Root ZX. Sin embargo, Mayeda (92) habían concluido previamente que los LEAs solo eran capaces de detectar el foramen mayor. Ounsi y Naaman (93) confirmaron este punto en 1999, concluyendo que “el Root ZX no es capaz de detectar la posición que está a 0,5mm del foramen apical (el equivalente a la constricción apical), y por tanto debería ser usado solamente para localizar el foramen mayor”.

Lee y cols. encontraron que la punta de la lima terminaba en el área del foramen mayor, sin tener en cuenta la unión amelo-cementaria, y que por tanto el foramen mayor es mejor nivel para medir la precisión de los LEA (94). Estudios recientes (95) han encontrado que el diámetro usado para determinar la longitud de trabajo no tenían un efecto significativo, a menos que la anchura apical fuera mayor a 1,02mm.

Aunque la precisión de los localizadores es mayor que las radiografías, algunos autores han observado en estudios in vivo (Pratten et al. y Stober et al.) (61, 86, 97) que entre un 15 y un 20% de los casos la punta de la lima había sobrepasado el foramen mayor cuando el localizador Raypex 5 (VDW, Alemania) era utilizado para establecer la longitud de trabajo adecuada. Otros autores como Shabahang, Dunlap (97) y Stober han corroborado este hecho cuando utilizaron el localizador Root Zx para establecer la longitud de trabajo, observando que la punta del instrumento sobresalía entre el 16,7 y el 40% de los casos.

La preocupación por la sobre-extensión en las preparaciones y el consecuente compromiso en la obturación ha producido diferentes opiniones sobre como usar los localizadores de ápice correctamente (98).

Los fabricantes han sugerido que la determinación de la longitud de trabajo con los localizadores se haga determinando el foramen mayor y restando 0,5mm a esta medida (53). Muchos clínicos piensan que esto puede alterar la constricción apical y sugieren sustraer 1,0mm a la medida establecida por el localizador. En el estudio de Guise, establecieron que la resta de 0,5mm produciría sobre-extensión en la instrumentación en el 10% de las lecturas realizadas con localizador electrónico de ápices y en el 5% de las medidas realizadas con los localizadores de precisión de ápices.

De acuerdo a los estudios y recomendaciones de los diferentes fabricantes, la longitud de trabajo debería de ser tomada mas corta en relación con el conducto. Sin embargo, esta subestimación de la longitud de trabajo puede conllevar una insuficiente limpieza de la porción mas apical del conducto y comprometer el resultado final del tratamiento endodóntico (99). La lima de permeabilidad puede ayudar a mantener esta zona limpia y libre de desechos. Sin embargo es importante entender la importancia que la sobre-estimación de la longitud de trabajo con instrumentos de calibre mayor a los de la lima de permeabilidad pueden suponer en el foramen mayor.

Actualmente no hay ningún estudio que demuestre los cambios que se pueden producir en el foramen mayor al producirse cambios al alza en la longitud durante la instrumentación de los conductos, ya sea por errores de procedimiento o de estimación de la longitud de trabajo.

En esta tesis doctoral se presenta un compendio de tres artículos aceptados en revistas de Endodoncia. Dos ellos han sido publicados en la revista *International Endodontic Journal* en los años 2010 y 2012, el tercero ha sido publicado en la revista *Endodoncia* en el año 2012.

La revista International Endodontic Journal es una revista indexada y se sitúa en el **ISI Journal Citation Reports® Ranking, del año 2010 en Odontología, Cirugía Oral y medicina en el puesto 11/74. Posé un factor de impacto de 2.383.**

Los tres artículos se configuran como un estudio de los cambios producidos a nivel del foramen mayor cuando éste es sobrepasado por diferentes instrumentos, ya sea por el uso de instrumentos de permeabilidad apical o como resultados de errores en la medición de la longitud de trabajo.

En el primer artículo, titulado: **“Apical transportation created using three different patency instruments”**, se ha evaluado el transporte a nivel del foramen mayor después de utilizar una lima K-flex #08 de acero inoxidable, un ensanchador de acero inoxidable y tamaño #10 y un espaciador digital tamaño XF, como instrumentos para realizar la permeabilidad apical.

En el segundo artículo, titulado: **“Centring ability and apical transportation after overinstrumentation with ProTaper Universal® and ProFile Vortex® instruments”**, se ha estudiado los cambios producidos en el foramen mayor (midiendo la capacidad de centrado del instrumento, el transporte y los cambios morfológicos en el foramen) después de realizar una sobre instrumentación con los instrumentos rotatorios de níquel-titanio ProTaper Universal y ProFile Vortex.

En el tercer artículo, titulado: **“Lima de permeabilidad: capacidad de centrado y deformación. Estudio in vitro”**, se ha estudiado el transporte y la capacidad de centrado del foramen mayor, después de utilizar las limas K#10 de acero inoxidable y las limas C-Pilot como limas de permeabilidad.

OC

BR

J

ME

T

I

2. OBJETIVOS

OC

S

2. OBJETIVOS

El objetivo principal de esta tesis doctoral fue analizar los cambios morfológicos producidos en el foramen mayor cuando utilizamos distintos instrumentos más allá de la longitud de trabajo.

2.1 Generales:

1. Observar la deformación in vitro que se produce a nivel apical cuando utilizamos una lima K-flex de 0.08mm de calibre, un ensanchador de acero inoxidable de 0.10mm de calibre y un espaciador digital XF, como instrumentos para realizar la permeabilidad apical.
2. Observar la deformación apical in vitro producida por los instrumentos de Níquel-Titanio: Protaper Universal® y Profile Vortex® al ser utilizados en conductos en los que se ha sobre-estimado la longitud de trabajo.
3. Observar la deformación in vitro producida nivel apical después de utilizar las limas de acero inoxidable K#10 y C-Pilot#10 como instrumentos de permeabilidad.

2.2 Específicos:

1. Establecer si hay diferencias significativas entre la lima K-Flex#08, el espaciador XF y el ensanchador #10, al ser utilizados como instrumentos de permeabilidad.
2. Analizar si la lima K-Flex#08 produce deformación a nivel del foramen mayor al ser utilizada como lima de permeabilidad.

3. Establecer la capacidad de las limas k#10 de acero inoxidable y las limas C-Pilot®, para realizar la permeabilidad apical.
4. Analizar la cantidad de deformación y la capacidad de centrado del foramen mayor apical después de utilizar las limas K#10 de acero inoxidable y la lima C-pilot® como lima de permeabilidad.
5. Evaluar si hay diferencias en el transporte producido por las limas rotatorias de Niquel-Titanio Protaper Universal® y Profile Vortex®, a nivel del foramen mayor, cuando son utilizadas más allá de la constricción apical.
6. Evaluar si hay diferencias en la capacidad de centrado de las limas rotatorias de Niquel-Titanio Protaper Universal® y Profile Vortex®, a nivel del foramen mayor, cuando son utilizadas más allá de la constricción apical.
7. Analizar los cambios morfológico en el foramen mayor después de utilizar las limas rotatorias de Niquel-Titanio Protaper Universal® y Profile Vortex® más allá de la constricción apical.

3. HIPÓTESIS

3. HIPÓTESIS

3.1 Hipótesis Nula:

HN₀: Las lima K-flex 0.08mm, el ensanchador 0.15mm y el espaciador XF producirán deformación apical al ser utilizados como instrumentos de permeabilidad.

HN₁: Todas las limas rotatorias de Ni-Ti de los sistemas Protaper Universal® y Profile Vortex® producirán los mismos cambios morfológicos en el foramen mayor, cuando realicen una sobre-instrumentación 1mm mas allá de la longitud de trabajo (0.5mm más allá del foramen mayor).

HN₂: Las limas C-Pilot® 0.10mm, debido al tratamiento en su fabricación, producirán mayor deformación del foramen que las limas K de acero inoxidable 0.10mm, al ser utilizadas como instrumentos de permeabilidad.

3.2 Hipótesis Alternativas:

HA₀: Las lima K-flex 0.08mm, el ensanchador 0.15mm y el espaciador XF no producirán deformación apical en la mayoría de los casos al ser utilizados como instrumentos de permeabilidad.

HA₁: Encontraremos diferencias significativas entre las diferentes limas rotatorias de Ni-Ti de los sistemas Protaper Universal® y Profile Vortex® en los cambios morfológicos que producirán morfológicos en el foramen mayor, cuando realicen una sobre-instrumentación 1mm mas allá de la longitud de trabajo (0.5mm más allá del foramen mayor).



R

T

í

U

U

T

4. ARTÍCULOS

O

S

4. 1 Apical transportation created using three different patency instruments

Artículo publicado en el International Endodontic Journal. Impact factor: 2,383 según JCR Science Edition. 1er quartil de Impact factor listing for Journals on Dentistry, Oral surgery and Medicine. ISI Journal Citation Reports © Ranking: 2010: 11/74 (Dentistry Oral Surgery & Medicine)



Apical transportation created using three different patency instruments

J. A. González Sánchez, F. Duran-Sindreu, M. Albuquerque Matos, T. García Carabaño, M. Mercade Bellido, S. Morello Castro & M. Roig Cayón

Department of Endodontics, Universitat Internacional de Catalunya, Barcelona, Spain

Abstract

Aim To evaluate root canal transportation at the major foramen through the use of stainless steel size 08 K-Flex files, size 10 reamers, and XF finger spreaders when used as patency instruments.

Methodology One hundred and two mesiobuccal canals of maxillary and mandibular first molars were randomly divided into three groups (34 canals each). Size 08 stainless steel K-Flex files, size 10 stainless steel reamers and stainless steel XF finger spreaders were used as patency instruments in groups A, B and C respectively. The major foramen was photographed before and after instrumentation. The images were superimposed and then evaluated using Photoshop to determine the frequency of apical transportation. The statistical analysis was performed using χ^2 test.

Results Transportation was detected in 22% of the specimens; 9% in group A, 12% in group B and 44% in group C. Significant differences were observed between groups A and C ($P = 0.0025$) and between groups B and C ($P = 0.0069$), but not between groups A and B ($P = 1.00$).

Conclusions No transportation was found in the majority of the samples when size 08 K-Flex files and size 10 stainless steel reamers were used. The XF finger spreaders, when used to maintain apical patency, caused the greatest transportation of the major foramen.

Keywords: apical transportation, patency file, root canal preparation.

Received 21 September 2009; accepted 9 February 2010

How to cite:

Gonzalez Sanchez, J. A., Duran-Sindreu, F., Albuquerque Matos, M., Garcia Carabaño, T., Mercade Bellido, M., Morello Castro, S. and Roig Cayón, M. (2010), Apical transportation created using three different patency instruments. *International Endodontic Journal*, 43: 560–564.

Introduction

The accumulation of debris during instrumentation of root canals may block access to the apical third (Buchanan 1991, Arias et al. 2009) and increase the possibility of apical transportation, ledges and perforations (Buchanan 1991, Cailleateau & Mullaney 1997). Patency filing has the potential to prevent debris accumulation in the apical portion of the canal, preserve the original foramen anatomy (Buchanan 1989, Cailleateau & Mullaney 1997), and allow access for the irrigating solution to the apical region of the root canal (Castellucci 2004). Maintaining the canal patent in the apical region may prevent ledge formation, transportation, and apical perforation (Buchanan 1989).

Patency can be achieved with a small file (08 or 10), which is passively moved 0.5–1 mm through the apical constriction. However, the use of this technique is controversial because of potential biological effects such as periapical tissue damage (Holland et al. 2005), postoperative pain (Gutierrez et al. 1999) and damage to the apical foramen (Goldberg & Massone 2002).

Gutierrez et al. (1999) observed cementum fractures and dentinal chips at the apex after achieving patency with a size 15 K-file. According to Goldberg & Massone (2002) when a size 20 file was used as a patency file, the possibility of transporting the apical foramen increased to 57% (17 of the 30 specimens analysed).

This study aimed to evaluate whether the use of a size 08 K-Flex file, a size 10 reamer, and an XF finger spreader as patency instruments transported the major foramen.

Material and methods

One hundred and two mesiobuccal canals of maxillary and mandibular first molars with non-merged roots and closed apices were selected. The teeth were cleaned with 4.2% sodium hypochlorite (NaOCl) solution (Lejía Conejo, Henckel Ibérica, Spain) for 4 h. They were then washed with tap water and stored in saline solution for 1 week at room temperature. The mesial roots were removed with a carborundum disc and then washed to eliminate debris. The estimated working length (WL) was determined by subtracting 1 mm from the total length of the tooth, measured by superimposing a size 10 K-file (Kerr USA, Romulus, MI, USA) over the tooth.

Each root was placed into a resin block, leaving the apical three mm of the root and the access cavity exposed to allow instrumentation, irrigation and patency filing. The resin block was adjusted with precision on an acrylic base under a stereomicroscope, to allow an exact reproduction of the major foramen position. The major foramen was then photographed under magnification using a 35-mm camera coupled to the stereomicroscope (pre-instrumentation photograph, Fig. 1a).

All root canals were instrumented as described in Table 1, and specimens were divided randomly into three experimental groups (34 canals each): A, B and C. Group A: size 08 stainless steel K-Flex file (Kerr, Turin, Italy) was used three times as a patency instrument, as described in Table 1. The patency instrument was passively introduced into the root canal until the file tip protruded 1 mm through the major foramen. Group B: size 10 reamer (Kerr) was used as patency instrument, as described in group A. Group C: XF finger spreader (Kerr USA) was used as patency instrument, as described in groups A and B. The true WL was established when using the patency instrument for the first time. The patency instrument was withdrawn until the tip of the file was seen level with the root surface at the major foramen under stereomicroscope control. This length was measured by adjusting the rubber stop in contact with the flat horizontal surface of the tooth. The distance between the file tip and the rubber stop was measured using a digital calliper to an accuracy of 0.1

mm. Then, 0.5 mm was subtracted from this measurement and the resulting value was considered as the true WL.

Post-instrumentation digital images (Fig. 1b) of the major foramen were taken following an identical method to that used for pre-instrumentation images. The digital images were transferred to a computer and post-instrumentation images were superimposed on the pre-instrumentation images to evaluate apical transportation (Fig. 1a,b). The photographs were transferred to Photoshop to outline the major foramen perimeter. Red was used to reveal the original major foramen perimeter, and blue the perimeter after instrumentation. By superimposing the two images, it was possible to establish whether there were variations in the initial and final apical perimeter or not (Fig. 2).

The variation in the final perimeter was considered apical transportation. Two previously calibrated individuals, blinded as to which patency instrument was used, marked together the perimeter of the major foramen. If the two individuals disagreed, a third previously calibrated individual was asked to make the final decision.

Chi square tests were used to determine significant differences in the frequency of apical transportation between the groups studied. To identify the source of these differences, the Chi-square test with Yates correction between the groups was applied.

Results

Of the 102 samples studied, 22 teeth (22%) had apical transportation (Table 2). Transportation was observed in 9% samples in group A, 12% in group B, and 44% in group C. After the χ^2 analyses, significant differences were found amongst the groups ($P = 0.0004$). Significant differences were found between groups A and C after instrumentation ($P = 0.0025$), and between groups B and C ($P = 0.0069$), but no differences were found between groups A and B ($P = 1.00$).

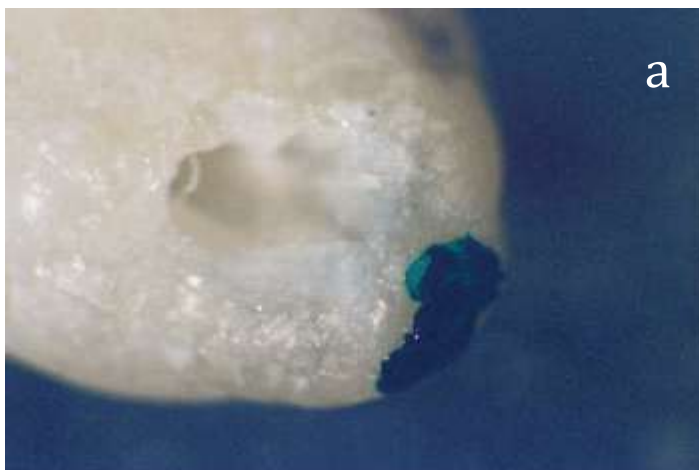


Figure 1 (a) The apical foramen before instrumentation. (b) The apical foramen after instrumentation

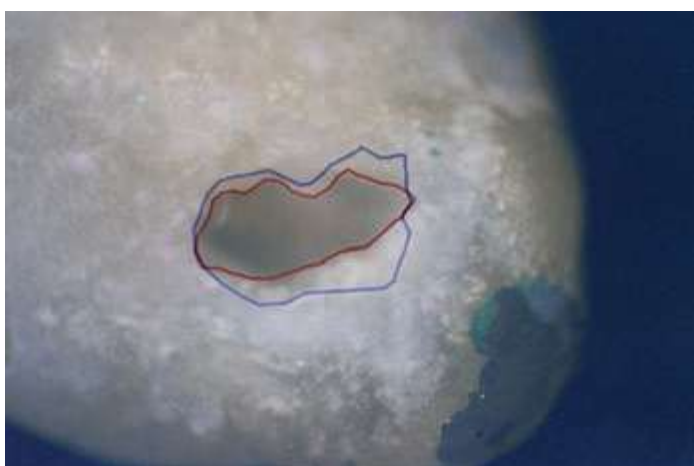


Figure 2 Superimposed pictures using Photoshop (red: initial perimeter; blue: final perimeter).

Table 1: Crown-down sequence used to prepare the root canals

Step	Instrument	Part of the canal
1	Size 15 K-file	Estimated working length (WL)
2	Preflaring with Nos. 4, 3 and 2 Gates Glidden	Coronal third
3	Profile size 40, 0.06 taper	Coronal third
4	Profile size 35, 0.06 taper	Coronal third to middle third
5	Profile size 30, 0.06 taper	Middle third to apical third
6	Patency instrument	1 mm through the major foramen and establishment of true WL
7	Profile size 25, 0.06 taper	WL
8	Patency Instrument	1 mm through the major foramen
9	Profile size 30, 0.06 taper	WL
10	Patency instrument	1 mm through the major foramen

Table 2: Presence and absence of apical transportation

	Size 08 K-Flex	Size 10 reamer	XF finger spreader
Presence	8.8% (3)	11.8% (4)	44.1% (15)
Absence	91.2% (31)	88.2% (30)	55.9% (19)
Total	100% (34)	100% (34)	100% (34)

Discussion

This study aimed to evaluate the effect of patency instrumentation on the major foramen. To this end, a similar protocol to that of Goldberg & Massone (2002) was used to determine transportation of the major foramen. In the present study, apical patency was achieved following the technique described by Buchanan (1989), without pre-bending the instrument and by moving it passively through the major foramen by 1 mm. The patency file was used only when the coronal two thirds of the canal had been prepared. This allowed the file to easily reach the major foramen and avoid changes in the WL (Camargo et al. 2009).

During instrumentation, dentine chips may sometimes accidentally be compacted into the apical portion of the root canal and form a dentine plug resulting in blockage of the apical foramen (Al-Omari & Dummer 1995). Hence, the aim of establishing apical patency is to maintain the apical portion of the root canal free of debris (mechanical goal) (Tsesis et al. 2008). In addition, it is important that after instrumentation the major foramen is both patent and clean (biological goal) (Tsesis et al. 2008).

The use of the patency file technique is controversial because of biological consequences such as overenlargement of the major foramen (Goldberg & Massone 2002) and damage to the periapical tissues (Ricucci 1998). By contrast, Tsesis et al. (2008) observed no significant differences after using a patency file in the degree of apical transportation, showing a tendency for WL to be maintained when a patency file was used (Tsesis et al. 2008).

Some authors have suggested that in order to increase the accuracy of electronic apex locator readings, the files should protrude slightly from the major foramen and then be retracted (Plotino et al. 2006); hence, apical patency should be maintained.

The incidence of post-endodontic pain was lower in teeth with non-vital pulps when apical patency was maintained and apical patency did not seem to be related to post

endodontic pain in teeth with vital pulps (Arias et al. 2009). Siqueira et al. (2002) reported that this procedure had no influence on the incidence of flareups, even when patency file was used by inexperienced practitioners. Torabinejad et al. (1988) noted that accidental over-extension of small files during WL determination had no significant effect on the frequency of post-endodontic pain. These studies suggest that over-extension of small files does not necessarily cause post-endodontic pain (Torabinejad et al. 1988, Siqueira et al. 2002, Arias et al. 2009). One possible explanation is that the patency file is not as harmful to periapical tissues as some believe (Arias et al. 2009). However, the clinician should be aware of the risk of using large instruments as patency files, as this procedure can result not only in severe periapical tissue injury, but can also destroy an apical stop, as well as extrude a large amount of infected debris and material during filling of the root canal system (Torabinejad et al. 1988, Siqueira et al. 2002), which could increase the incidence of post-endodontic pain and jeopardize the outcome of the root canal treatment (Siqueira et al. 2002, Arias et al. 2009). It has also been reported that root canals with apical patency had less leakage after filling compared with those without patency filing (Monsef et al. 1997).

In this study, a size 08 K-Flex file was chosen, as Goldberg & Massone (2002) observed transportation of the major foramen using size 10, 15 and 20 K-files. Goldberg & Massone (2002) observed that if stainless steel size 20 K-file was used as a patency file, the probability of transportation of the major foramen was 60%. A size 10 reamer was selected instead of a size 08, as the reamer mass is less than that of a K-file of the same size, because of its fewer flutes per millimeter (Stock et al. 1995). An XF finger spreader was used, as it is the smallest available. This spreader has a 0.16- mm diameter tip, 1.4% taper and a non-cutting tip. Initially, the spreader was expected to cause less transportation than the other instruments, given that it has less taper than a K-file and has no flutes. However, this did not materialise, probably because this instrument has a greater mass and is stiffer, because of its circular geometry, than the other two instruments.

The results of this study differed from those of Goldberg & Massone (2002), who observed that apical transportation started with the use of a size 10 K-file in 33% of

the specimens, and concluded that a smaller file should be chosen when using the patency technique. This difference could be because of the reduced mass of a size 08 K-file or a size 10 reamer compared with that of a size 10 K-file and/or because a reamer cuts more effectively using rotary motion (Stock et al. 1995), and in the present study the patency instrument was passively introduced until the tip protruded 1 mm through the major foramen using a push-pull motion.

The patency file should be moved passively through the major foramen without widening it (Buchanan 1989). But, as the major foramen usually emerges laterally from the root apex (Kuttler 1955), the patency file may alter the apical anatomy by acting on one wall of the major foramen (Tsesis et al. 2008). In groups A and B, the major foramen was transported by 9% and 12% respectively. In these cases, a minor transportation towards the outer aspect of the major foramen was observed.

Conclusions

No transportation was found in the majority of the samples when size 08 stainless steel K-Flex files and size 10 stainless steel reamers were used. XF finger spreaders, when used to maintain apical patency, caused the greatest transportation of the major foramen.

References

Al-Omari MA, Dummer PM (1995) Canal blockage and debris extrusion with eight preparation techniques. *Journal of Endodontics* 21, 154–8.

Arias A, Azabal M, Hidalgo JJ, de la Macorra JC (2009) Relationship between postendodontic pain, tooth diagnostic factors, and apical patency. *Journal of Endodontics* 35, 189– 92.

Buchanan LS (1989) Management of the curved root canal. *Journal of California Dental Association* 17, 18–25, 27.

Buchanan LS (1991) Cleaning and shaping the root canal system. In: Cohen S, Burns RC, eds. *Pathways of the Pulp*, 5th edn. St Louis: CV Mosby, pp. 166–92.

Cailleateau JG, Mullaney TP (1997) Prevalence of teaching apical patency and various instrumentation and obturation techniques in United States dental schools. *Journal of Endodontics* 23, 394–6.

Camargo EJ, Zapata RO, Medeiros PL et al. (2009) Influence of preflaring on the accuracy of length determination with four electronic apex locators. *Journal of Endodontics* 35, 1300–2.

Castellucci A (2004) *Endodontics*. Florence: Edizioni Odontoiatriche il Tridente, pp. 396–437.

Goldberg F, Massone EJ (2002) Patency file and apical transportation: an in vitro study. *Journal of Endodontics* 28, 510–1.

Gutierrez JH, Brizuela C, Villota E (1999) Human teeth with periapical pathosis after overinstrumentation and overfilling of the root canals: a scanning electron microscopic study. *International Endodontic Journal* 32, 40–8.

Holland R, Sant'Anna Junior A, Souza V et al. (2005) Influence of apical patency and filling material on healing process of dogs' teeth with vital pulp after root canal therapy. *Brazilian Dental Journal* 16, 9-16.

Kuttler Y (1955) Microscopic investigation of root apices. *Journal of the American Dental Association* 50, 544-52.

Monsef M, Hamedzadeh K, Soluti A (1997) Effect of apical patency on the apical seal of obturated canals. *Journal of Endodontics* 23, 253.

Plotino G, Grande NM, Brigante L, Lesti B, Somma F (2006) Ex vivo accuracy of three electronic apex locators: root ZX, Elements diagnostic unit and apex locator and propex. *International Endodontic Journal* 39, 408-14.

Ricucci D (1998) Apical limit of the root canal instrumentation and obturation, part I Literature review. *International Endodontic Journal* 31, 384-93.

Siqueira JF, Rocas IN, Favieri A et al. (2002) Incidence of postoperative pain after intracanal procedures based on antimicrobial strategy. *Journal of Endodontics* 28, 457-60.

Stock CJR, Gulabivala K, Walker RT, Goodman JR (1995) *Colour Atlas and Text of Endodontics*, 2nd edn. London: Mosby-Wolf, pp. 97-144.

Torabinejad M, Kettering JD, McGraw JC, Cummings RR, Dwyer TG, Tobias TS (1988) Factors associated with endodontic interappointment emergencies of teeth with necrotic pulps. *Journal of Endodontics* 14, 261-6.

Tsesis I, Amdor B, Tamse A, Kfir A (2008) The effect of maintaining apical patency on canal transportation. *International Endodontic Journal* 41, 431-5

4.2 CENTRING ABILITY AND APICAL TRANSPORTATION AFTER OVER-INSTRUMENTATION WITH PROTAPER UNIVERSAL AND PROFILE VORTEX INSTRUMENTS

Artículo publicado en el International Endodontic Journal. Impact factor: 2,383 según JCR Science Edition. 1er cuartil de Impact factor listing for Journals on Dentistry, Oral surgery and Medicine. ISI Journal Citation Reports © Ranking: 2010: 11/74 (Dentistry Oral Surgery & Medicine)



Centring ability and apical transportation after over-instrumentation with ProTaper Universal and ProFile Vortex instruments

J. A. González Sánnchez, F. Duran-Sindreu, S. de Noé, M. Mercadé & M. Roig

Department of Restorative Dentistry and Endodontics, Universitat Internacional de Catalunya, Barcelona, Spain

Abstract

Aim To evaluate morphological changes to the major foramen after over-instrumentation with ProTaper Universal and ProFile Vortex Ni-Ti rotary instruments.

Methodology Twenty-eight mesiobuccal canals of maxillary and mandibular first molars were divided into two groups of 14 canals each. The root canals were prepared with Protaper Universal or ProFile Vortex instruments. ProTaper and Vortex instruments were used until the file tip protruded 1 mm beyond the WL (0.5 mm beyond the major foramen). The major foramen was photographed before and after over-instrumentation with each file of the two systems used. The images were superimposed and evaluated using Adobe Photoshop. The parameters evaluated were canal transportation, centring ability, and shape of the major foramen. Transportation and centring ability were calculated in two directions: the direction of maximum curvature (MC) and a direction vertical to the maximum curvature (VC). Measurements of canal transportation and centring ability were analysed by ANOVA followed by post hoc LSD (least significance difference) multiple comparisons.

Results No significant differences were observed among the different instruments with respect to centring ability in either direction ($p>0.05$). The F3 ProTaper Universal instrument was associated with a higher mean values for transportation in the direction of MC ($p<0.05$) than the S1, S2, and F1 ProTaper Universal instruments

and the size 15, .06 taper, size 20, .06 taper, and size 25, .06 taper ProFile Vortex instruments. The size 30, .06 taper Profile Vortex instrument had a larger mean value for transportation in the direction of MC ($p < 0.05$) than the S1 ProTaper Universal and size 15, .06 taper ProFile Vortex instruments. The S1, S2, F1, F2, and F3 ProTaper Universal files and the size 15, .06 taper, size 20, .06 taper, size 25, .06 taper, and size 30, .06 taper ProFile Vortex files produced an oval foramen in 71%, 71%, 85%, 85%, 71%, 71%, 85%, 85%, and 89% of the cases, respectively.

Conclusions In most samples, the ProTaper Universal and ProFile Vortex files produced transportation of the major foramen and created an oval shaped major foramen after over-instrumentation.

Key words: apical transportation, centring ability, over-instrumentation, ProTaper Universal, ProFile Vortex

International Endodontic Journal doi:10.1111/j.1365-2591.2011.02008.x

Received 8 August 2011; accepted 12 December 2011

How to cite:

González Sánchez, J. A., Duran-Sindreu, F., de Noé, S., Mercadé, M. and Roig, M. (2012), Centring ability and apical transportation after overinstrumentation with ProTaper Universal and ProFile Vortex instruments. *International Endodontic Journal*.

Introduction

The aims of root canal treatment are to eliminate microorganisms, to remove infected and necrotic pulpal remnants, and to shape the root canal system in order to facilitate irrigation and the placement of medication and/or filling material (Haapasalo *et al.* 2005). At the same time, the procedure should avoid any iatrogenic events, such as fracture of the instruments, transportation of the root canal, formation of a ledge or perforation of the tooth. A number of studies on both extracted teeth and simulated canals have shown that rotary nickel–titanium (Ni–Ti) instruments allow more rapid, more centred, rounder, and more conservative shaping of canals than stainless steel instruments (Glossen *et al.* 1995, Kum *et al.* 2000, Schäfer & Lohmann 2002).

The Ni–Ti rotary instruments that are on the market currently vary considerably in design. Studies evaluating the cutting efficiency of various tip designs suggest less apical transportation with non-cutting tips than with cutting-tipped files (Dummer *et al.* 1998, Powell *et al.* 1998). An increasing taper is directly related to increased cross-sectional areas and decreased flexibility (Javaheri & Javaheri 2007). Several other variables, such as canal curvature, root canal anatomy and anatomical diameter, might also be involved in changes to root canal morphology. (Schäfer & Dammaschke 2006)

The ProTaper (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) has a convex triangular cross-sectional design with three cutting edges, a negative cutting angle, and a flute design that combines progressive tapers within the shaft (Yang *et al.* 2006). A new design feature of the ProTaper Universal Ni–Ti system is that the tips of the finishing files are more rounded than those of the original ProTaper Ni–Ti system to improve working and shaping ability (Aguar *et al.* 2009). Furthermore the convex lateral surfaces of the F3 to F5 instruments are machined to increase flexibility (Vaudt *et al.* 2009). The Protaper Universal instruments performed better than the original ProTaper files evaluated previously, probably because the file tip was changed from the “modified guiding tip” to the “rounded safe tip” (Câmara *et al.* 2009).

ProFile Vortex rotary instruments (Dentsply, Tulsa Dental Specialities, Tulsa, OK, USA) were introduced in 2009. Vortex files are manufactured from modified Ni-Ti raw material, which is also known as M-wire. M-wire, which was introduced in 2008, is produced by applying a series of heat treatments to Ni-Ti wire blanks. Preliminary evidence suggests that the use of M-wire improves the fatigue lifespan of rotary instruments while maintaining the same torsional properties as instruments that have been ground conventionally (Bardsley *et al.* 2011). ProFile size 25, taper .04 files that are manufactured from M-Wire Ni-Ti show nearly 400% more resistance to cyclic fatigue than size 25, taper.04 ProFile files manufactured from SE508 Ni-Ti (Johnson *et al.* 2008). The system has 0.04 and 0.06 taper instruments in sizes that range from 15 to 50. ProFile Vortex rotary files have a triangular cross section and a specific helical angle without radial lands with a non-cutting safety tip (Gao *et al.* 2010).

The effectiveness of various instruments in root canal preparation has been studied after the correct working length (WL) has been determined, which does not take into account the fact that instrumentation might occur beyond the major foramen. It has been shown that the WL was overestimated in more than 50% of premolar samples and 22% of molar samples, although the radiographic WL was located 0 to 2 mm short of the radiographic apex (ElAyouti *et al.* 2001). Some authors have shown that electronic apex locators (EALs) provide a more accurate estimation of the WL than radiographs (Pratten & McDonald 1996, Cianconi *et al.* 2011). For this reason, the use of EALs has been proposed to obtain a more accurate length for the root canal (Pratten & McDonald 1996). However, in *in vivo* studies, Wrbas *et al.* (2007) and Stöber *et al.* (2011a) observed that the file tip passed the major foramen in 20% and 15% of the samples, respectively, when the Raypex 5 (VDW, Munich, Germany) EAL was used. In addition, Wrbas *et al.* (2007), Shabahang *et al.* (1996) , Dunlap *et al.* (1998), and Stöber *et al.* (2011b) observed that, with the Root ZX (J Morita Corp, Tokyo, Japan) EAL, the file tip protruded beyond the major foramen in 40%, 30.8%, 26%, and 16.7% of the samples, respectively. Furthermore, Stöber *et al.* (2011) reported that, with the iPex (NSK, Tochigi, Japan) EAL, the file extended beyond the major foramen in 26.3% of the samples.

In addition, some authors have observed that EALs used with rotary Ni-Ti files cannot determine and control the apical extent of rotary instrumentation accurately. Jakobson *et al.* (2008) found that the auto-reverse function of the Root ZX II with the Low-Speed Handpiece unit could not control the apical extent of rotary instrumentation when the auto-reverse function was set to 1. Uzun *et al.* (2008) observed that, when the auto-reverse function was used, the Tri Auto ZX (J Morita Co., Kyoto, Japan) and TCM Endo V (Nouvag, Goldach, Switzerland) EALs instrumented beyond the major foramen in 60% and 95% of cases of retreatment, respectively. Siu *et al.* (2009) reported that the rotary Ni-Ti file protruded beyond the major foramen 28.6% of the time for the Root ZX II with the Low Speed Handpiece module (J. Morita USA, Tustin, CA, USA), 28.6% of the time for the Apex NRG XFR (Medic NRG Ltd, Tel Aviv, Israel) attached to the Brasseler handpiece (Brasseler USA, Savannah, GA, USA), and 25% of the time for the Mini Apex Locator attached to the Brasseler handpiece. On the basis of these results, some authors have proposed that, when determining the WL, the instrument should be withdrawn by approximately 0.5 mm from the position given by some EALs (Wrbas *et al.* 2007, Pascon *et al.* 2009). However, the range of values of WL obtained with EALs is broad (i.e the standard deviation is high) and thus the WL will be underestimated in some cases, although in others it will be overestimated. By following the recommendations of the above-mentioned authors, the WL would be underestimated more frequently; underestimation of the WL can lead to insufficient debridement of the root canal and may jeopardize the outcome of the treatment (Sjögren *et al.* 1990).

In light of the concerns about overestimation of the WL, it is important to understand the effects of overinstrumentation on the major foramen when the WL has been overestimated. The aim of the study was to evaluate the morphological changes in the major foramen after overinstrumentation with the ProTaper Universal and ProFile Vortex rotary instruments.

Regarding the morphological changes to the major foramen, the null hypothesis was that neither the Protaper Universal nor the ProFile Vortex would show any statistically significant differences when used to prepare the root canal until the file tip protruded 1 mm beyond the WL (0.5 mm beyond the major foramen)

Materials and methods

Selection of root canals

Fourteen maxillary and 14 mandibular molar teeth with complete root formation and no history of endodontic treatment were used. The teeth were extracted because of periodontal disease, and comprised a total of 28 mesiobuccal root canals. For the maxillary molars, the main mesiobuccal root canal was chosen, and only mesiobuccal canals from mesial roots that had two separate orifices that terminated in two separate foramina were selected for the mandibular molars. Teeth were only selected if they allowed placement of a size 06 K-file to the major foramen and did not allow passive placement of a size 15 K-file to within 1 mm of the major foramen. The teeth were cleaned, disinfected, immersed in 0.9% saline solution, and stored at room temperature. The root canals were divided equally into two instrumentation groups, such that there was an equitable distribution of canal numbers, canal curvatures, and radii between the two groups. Both the ProTaper Universal group and the ProFile Vortex group contained seven mesiobuccal canals from maxillary molars and seven from mandibular molars. The angle of curvature and radius of each canal were determined from periapical radiographs, in accordance with the method of Pruett *et al.* (1997).

The means and standard deviations of the angles and radii of curvature of the root canals in the ProTaper group were 33.8 ± 10.1 degrees and 4.83 ± 1.14 mm, and in the Profile Vortex group, 31.14 ± 8.32 degrees and 5.21 ± 1.81 mm. A t-test showed no statistically significant differences in these variables between the two groups.

Preparation of the model and root canal instrumentation

All the teeth were shortened to a length of 18 mm. Each tooth was placed coronally in a customized silicone block, leaving the apical portion of the root visible. The teeth could be removed and repositioned in the block easily to allow instrumentation and irrigation. The silicone block was adjusted with precision on an acrylic base coupled

to a stereomicroscope, in order to visualize the position of the major foramen. Each root was illuminated directly and orientated until the major foramen was located in the middle of and parallel to the objective lens, which allowed the entire major foramen to be observed under the stereomicroscope. The major foramen was photographed at 20× magnification using a 35-mm digital camera coupled to the stereomicroscope (pre-instrumentation photograph, [Po0]); (Fig. 1a).

The WL was established with a size 06 K-file. The file was introduced into each canal until the file tip became visible through the major foramen under a stereomicroscope at 20× magnification. The file was then withdrawn until the tip was tangential to the major foramen. The silicone stop was adjusted to the nearest flat anatomical tooth landmark, which was chosen as a reference for measurement of the root canal. The distance between the file tip and the rubber stop was measured under a stereomicroscope at 4.5× magnification with a millimetre ruler. Subsequently, 0.5 mm was subtracted from this measurement and the resulting value was considered to be the WL.

A customized jig was designed in silicone (Optosil P Plus® HERAEUS KULZER, Hanau, Germany) and provided a reproducible position for the digital dental X-ray sensor and cone alignment. A size 15 K-file was placed in the root canal to the WL and two digital radiographs (Kodak RVG 6100, Kodak, Rochester, NY, USA) were taken of each tooth. The first radiograph was obtained orthoradially. Then, the tooth was rotated through 90° and a second radiograph was taken. The radiographs were transferred to AutoCad 2009 (Autodesk Inc, San Rafael, CA, USA) and the angle and radius of curvature of each root canal was measured.

Group A was assigned to preparation with ProTaper Universal instruments and group B to preparation with ProFile Vortex instruments.

Both the ProTaper Universal and ProFile Vortex instruments were used with a 16:1 reduction handpiece (X-Smart; Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) powered by a torque-limited electric motor (X-Smart; Dentsply Maillefer). The instrumentation was carried out in accordance with the manufacturer's instructions. Vortex rotary

files were used at 400 rpm and ProTaper rotary files at 300 rpm. Table 1 shows the instrument sequence for each group.

ProTaper Universal

A glide path up to a size 20 K-file was created to the WL before instrumentation. The teeth were preflared with an SX ProTaper file, which was applied in a brushing motion away from the furcation. Subsequently, a size 10 K-file (Maillefer) was introduced passively into the root canal until the file tip protruded 1 mm beyond the WL (0.5 mm beyond the major foramen). The rotary files were withdrawn immediately upon reaching the WL+1mm. ProTaper instruments were used up to F3 until the file tip protruded 1 mm beyond the WL (Table 1).

ProFile Vortex

In the second group, the glide path and patency were established in an identical manner to those of group A. The canals were prepared using .06 tapered instruments in a crown-down technique, starting with a size 40 file, followed by sizes 35, 30, 25, and 20. It should be noted that only the size 20, .06 taper file reached the WL. Subsequently, the root canals were instrumented with size 15, .06 taper, size 20, .06 taper, size 25, .06 taper, and size 30, .06 taper files until the file tip protruded 1 mm beyond the WL (Table 1).

In both groups, after each instrument had been used, the root canal was irrigated with 2 mL of 5.25% sodium hypochlorite solution using a plastic syringe with a 27-gauge closed-end needle (Hawe Max-I-probe; Hawe Neos, Bioggio, Switzerland). In both groups, each instrument was used to enlarge three canals and was then discarded. During the study, three instruments were discarded owing to surface deformation.

Digital images of the major foramen (Fig. 1b) were taken post-instrumentation following an identical method to that used for the pre-instrumentation images. The major foramen was photographed after the use of each single instrument. The root

canals and the major foramen were dried carefully before each photograph was taken.

All photographs were transferred to Adobe Photoshop (Adobe Systems, Inc, San Jose, CA, USA) to outline the perimeter of the major foramen. Photoshop was used to transform each image to 50% transparency and to superimpose each photograph separately over its pre-instrumentation image (PoO) (Lopez *et al.* 2008). Precision was achieved by marking the apical surface with indelible dye, which allowed the post-instrumentation image to be superimposed over the pre-instrumentation images (Fig. 1c).

The superimposed images were transferred to AutoCAD (Autodesk Incorporated), which was used to calculate and pinpoint the centre of gravity (Paqué *et al.* 2005) (CG; the mean location of all the mass in a system) of each PoO (Fig. 2).

Image Analysis

The following parameters were used to evaluate the ability of the instruments to shape the canal:

Canal transportation

Transportation of the canal after instrumentation was measured in accordance with the method described by Yang *et al.* (2007). Transportation was calculated for the major foramen in two directions (Fig. 3): the direction of maximum curvature (MC) and the direction vertical to the maximum curvature (VC).

Centring ability

According to Gambill *et al.* (1996), the mean centring ratio indicates the ability of the instrument to stay centred in the canal.

The centring ability of the instrument was calculated from the ratio of T'/T'' or T''/T' in accordance with the method of Gambill *et al.* (1996). Centring ability was also calculated in two directions (Fig. 3): MC and VC. A result of '1' indicates perfect centring ability.

Shape of the major foramen

The shape of the major foramen after instrumentation was measured in accordance with the method described by Marroquin *et al.* (2007). Two measurements of the diameter, defined as wide and narrow, were made for each major foramen. A major foramen with a difference equal to or greater than 0.02 mm between the wide and narrow diameters was defined as having an oval instead of a round shape.

Analysis of data

The values for canal transportation and centring ability were analysed using ANOVA followed by post hoc LSD multiple comparisons. When the ANOVA test indicated a significant difference, the LSD multiple range test procedure was used to ascertain which means differed from the others. Significance was considered at $p < 0.05$.

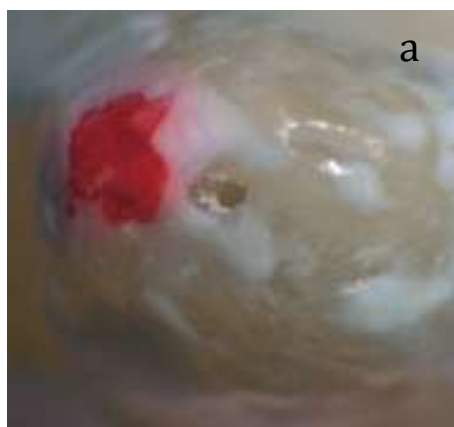


Figure 1 (a) Pre-instrumentation photograph, [Po0]. (b) Post-instrumentation photograph [Po3], after use of the F1 ProTaper Universal. (c) F1 image [Po3] superimposed over its pre-instrumentation image [Po0].

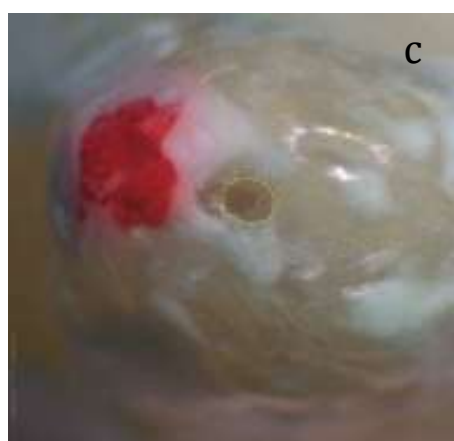
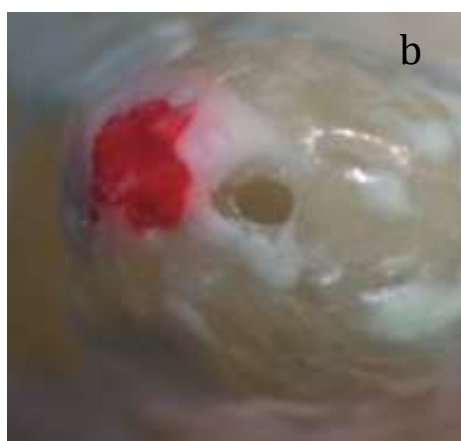


Table 1 Instrumentation for each system

ProTaper		ProFile Vortex		
Type		Length		
Size 10 K-File		WL		
Size 15 K-File		WL		
Size 20 K-File		WL		
Type	Length	Taper	Size	Length
SX	Meet resistance	0.06	40	Meet resistance
Size 10 K-File	WL + 1 mm	0.06	35	Meet resistance
S1	WL + 1 mm	0.06	30	Meet resistance
S2	WL + 1 mm	0.06	25	Meet resistance
F1	WL + 1 mm	0.06	20	WL
F2	WL + 1 mm	0.02	Size	WL + 1 mm
F3	WL + 1 mm	0.06	15	WL + 1 mm
		0.06	20	WL + 1 mm
		0.06	25	WL + 1 mm
		0.06	30	WL + 1 mm

WL, working length.

Results

Transportation

Table 2 shows the mean values for transportation after instrumentation for each file. The F3 ProTaper Universal instrument had a higher mean value for transportation in the direction of MC ($p < 0.05$) than the S1, S2, and F1 ProTaper Universal instruments and the size 15, .06 taper, size 20, .06 taper, and size 25, .06 taper ProFile Vortex instruments. The F2 and F3 ProTaper Universal instruments had a higher mean value for transportation in the direction of VC ($p < 0.05$) than the S1, S2, and F1 ProTaper Universal instruments and the size 15, .06 taper, size 20, .06 taper, and size 25, .06 taper Profile Vortex instruments. The F3 ProTaper Universal instrument had a larger mean value for transportation in the direction of VC ($p < 0.05$) than the F2 ProTaper Universal instrument. The ProFile Vortex size 30, .06 taper instrument had a larger mean value for transportation in the directions of MC and VC ($p < 0.05$) than the S1 ProTaper Universal instrument and the size 15, .06 taper ProFile Vortex instrument. No significant differences were observed among the other instruments.

Centring ability

The centring ability (as expressed by the centring ratio) for each instrument in the two directions is detailed in Table 3. There were no significant differences among the different instruments with respect to centring ability in either direction ($p > 0.05$).

Shape of the major foramen

The S1, S2, F1, F2, and F3 ProTaper Universal files and the size 15, .06 taper, size 20, .06 taper; size 20, .06 taper, size 20, .06 taper, size 25, .06 taper and size 30, .06 taper Profile Vortex files produced an oval foramen in 71% (10/14), 71% (10/14), 85% (12/14), 85% (12/14), 71% (10/14), 71% (10/14), 85% (12/14), 85% (12/14), and 89% (8/9) of the cases respectively. In five of the samples, the size 30, .06 taper ProFile Vortex file could not pass the major foramen.

Figure 2 The superimposed images were transferred to Auto-CAD, which was used to calculate and pinpoint the centre of gravity (CG).

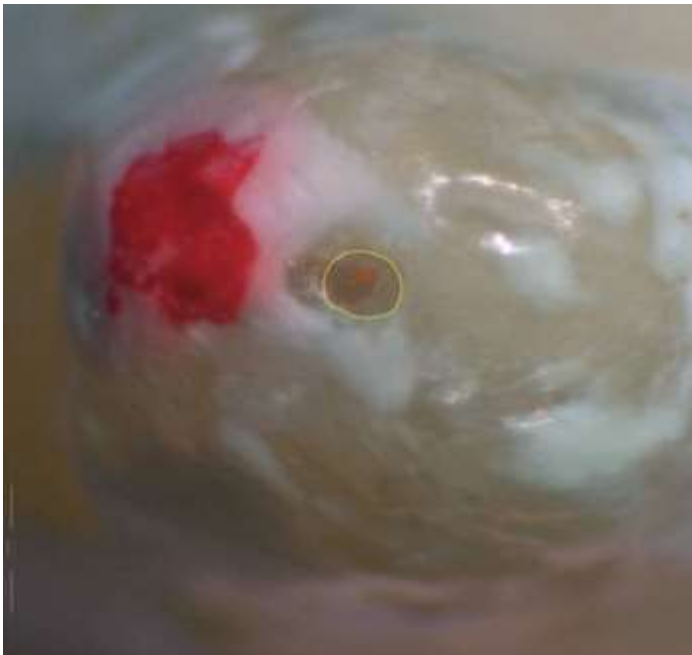


Figure 3 Definition of transportation ($T = T_{\phi} / T_{\phi\phi}$) and centring ability (ratio = $T_{\phi}/T_{\phi\phi}$ or $T_{\phi\phi}/T_{\phi}$). Representation of the two directions of measurement: MC, direction of maximum curvature (black line); VC, direction vertical to the maximum curvature (blue line).

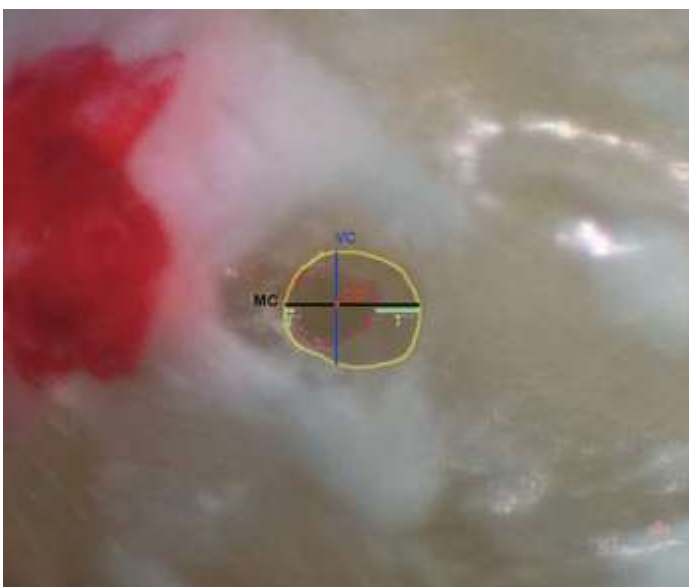


Table 2 Absolute values (mean \pm SD) for transportation (μm)

	File																		
	S1	+/-	S2	+/-	F1	+/-	F2	+/-	F3	+/-	V15	+/-	V20	+/-	V25	+/-	V30	+/-	
Transportation	27.81	22.88	36.64	24.15	42.55	29.83	56.95	45.15	88.95	98.48	27.76	29.90	36.73	42.45	48.05	46.68	73.67	63.46	
Direction of maximum curvature	5.88	5.07	8.64	5.28	9.68	7.05	17.95	13.59	26.70	14.60	5.60	3.25	7.55	8.43	9.45	7.42	14.94	12.47	
Direction vertical to the maximum curvature																			

Table 3 Absolute values (mean \pm SD) for centring ability (ratio)

	File																	
	S1	+/-	S2	+/-	F1	+/-	F2	+/-	F3	+/-	V15	+/-	V20	+/-	V25	+/-	V30	+/-
Centring ability	0.341	0.26	0.278	0.26	0.299	0.15	0.307	0.22	0.344	0.25	0.353	0.29	0.307	0.28	0.259	0.19	0.240	0.16
Direction of maximum curvature	0.542	0.32	0.563	0.19	0.658	0.19	0.623	0.28	0.546	0.25	0.537	0.26	0.691	0.16	0.724	0.15	0.525	0.28
Direction vertical to the maximum curvature																		

Table 2: Absolute values for transportation (μm)

Table 3: Absolute values for centring ability(μm)

Discussion

The purpose of this study was to evaluate the morphological changes in the major foramen after overinstrumentation with ProTaper Universal and ProFile Vortex rotary instruments. In general, two experimental models are used to evaluate the preparation of root canals with different instruments: (i) simulated root canals in clear resin blocks and (ii) root canals in extracted human teeth.

In simulated root canals in resin, the diameter, length, and angle of curvature of the root canals are standardized. However, the resin might not represent clinical conditions owing to differences in the surface texture, hardness, and cross-sectioning of dentine (Bertrand *et al.* 2001). Moreover, the heat generated by rotary instruments through friction may cause the resin to melt (Rhodes *et al.* 1999). Extracted teeth provide conditions that are close to the clinical situation (Schäfer and Vlassis 2004). Despite variations in the morphology of natural teeth, efforts were made in this study to ensure comparability of the experimental groups. On the basis of the initial radiographs, the two groups were balanced with respect to the angles and radii of curvature of the canals. The use of an operator-driven instrument rather than a standardized computer-driven instrument has the drawback of introducing operator bias but the advantage of simulating clinical conditions wherein an operator can compensate for the shortcomings of the instrument by modifying digital pressure (Ounsi *et al.* 2011). It is important to highlight that the present study investigated two types of Ni-Ti rotary instruments. Thus, the results obtained cannot be directly extrapolated to other instruments with different designs (Ounsi *et al.* 2011).

Radiographic evaluation allows only a two-dimensional evaluation of the root canal (Sydney *et al.* 1991). In this study, as in others, pre- and postoperative photographs of the cross section of the root canal were evaluated, which enabled the most important parameters of root canal preparation, i.e. transportation, centring ability, cross-sectional area, and the shape of the major foramen, to be assessed (Hülsmann *et al.* 2003).

Fourteen canals in each group were used in this study. Six instruments were used for the Protaper group for each canal, and 4 instruments for the Vortex group. Having

used each instrument the major foramen was measured twice to obtain the direction of maximum deformation and the direction vertical to maximum deformation. Next transportation and centring ability were analyzed. Thus, 1164 measurements were obtained for the two groups . and the statistical analysis showed significant differences. For this reason, the sample was not increased.

It is important to note that the standard deviations were often quite close to the mean values themselves. This variation indicates that even with the same experienced operator, the outcome is subject to considerable differences. This finding agrees with that observed by Ounsi *et al.* (2011), who used standardized simulated canals. Thus, having carried out a linear regression on a possible link between the angle and radius of curvature and the transportation of the major foramen (data not shown), no relationship was observed between these variables and the mentioned transportation. However, it is important to note that all the canals in this study presented curvatures ranging from moderate (4/28) to severe (24/28), in accordance with Fiore *et al.* (2006). The results might have varied if straight root canals had been used in this research.

González Sánchez *et al.* (2010) observed no transportation in the majority of samples when size 08 stainless steel K-Flex files and size 10 stainless steel reamers were used as patency files. Siqueira *et al.* (2002) reported that using a patency file had no influence on the incidence of flare-ups, even when the file was used by inexperienced practitioners. Torabinejad *et al.* (1988) noted that accidental overextension of small files during determination of the WL had no significant effect on the frequency of postendodontic pain. These studies suggest that overextension of small files does not necessarily cause postendodontic pain (Torabinejad *et al.* 1988, Siqueira *et al.* 2002, Arias *et al.* 2009). It appears that the patency file is not as harmful to periapical tissues as some think (Arias *et al.* 2009).

However, although direct evidence of the potentially negative consequences of overinstrumentation is lacking, it can be speculated that overinstrumentation, with the possible exception of the use of the smallest hand files of size 06 to 10 for apical patency , should be avoided for the following reasons (Haapasalo *et al.* 2003). First,

large instruments that are passed through the major foramen can result in direct trauma to periapical tissues (Haapasalo *et al.* 2003) and this could increase the incidence of postoperative pain (Siqueira 2005). Second, overinstrumentation usually precedes overfilling because overinstrumentation can destroy the apical stop (Siqueira 2001, Siqueira 2005). Overextended filling materials can induce pain through mechanical compression of the periradicular tissues (Siqueira 2005). However, most of the materials that are used to fill root canals are either biocompatible or exhibit cytotoxicity only before setting (Siqueira 2001). Therefore, it is highly improbable that most modern-day endodontic materials would be able to sustain periradicular inflammation in the absence of a concomitant endodontic infection (Siqueira 2001, Siqueira 2005). Third, extrusion of necrotic debris and microorganisms from the root canal into the periapical area might result in persistent infection, such as periapical actinomycosis, and this poses a potential threat to the long-term outcome of the treatment (Siqueira 2001, Haapasalo *et al.* 2003, Siqueira 2005). Fourth, creation of an oval foramen instead of a round one might result in a poorer apical seal with a round gutta-percha master point (complete compensation with a sealer is theoretical) (Haapasalo *et al.* 2003). In the present study, the rotary Ni-Ti instruments did not maintain the original position of the major foramen in general, and thus produced oval preparations. In the authors' opinion it is not a problem of deformation per se, but deformation that normally causes an oval shaped major foramen, which could hinder root canal filling. The F1, F2, and F3 ProTaper Universal files and the size 20, .06 taper, size 25, .06 taper, and size 30, .06 taper Vortex files created an oval major foramen in 85%, 85%, 71%, 85%, 85%, and 89% of cases, respectively. The warm gutta-percha techniques could fill these oval shaped major foramens since these procedures can fill other irregularities in the root canal (Bowman & Baumgartner 2002). However, there is no evidence to corroborate that these techniques can fill oval shaped major foramenina correctly after overinstrumentation. In the case of a poor apical seal, percolation of tissue fluids rich in glycoproteins into the root canal system can supply substrate to surviving microorganisms, which can multiply and reach sufficient numbers to induce or sustain a periradicular lesion (Siqueira 2001, Siqueira 2005). Fifth, in cases of apical transportation, an increase in the size of the major foramen makes it possible for

bacteria to receive nutrients from an inflammatory exudate in the periapical area (Haapasalo *et al.* 2003).

In the present study, the ProTaper Universal instruments had a tendency to cause transportation of the major foramen. The findings of this study concur with those of Yang *et al.* (2007), Kunert *et al.* (2010), and Javaheri *et al.* (2007). However, the results of the present study cannot be compared directly with those of the above-mentioned studies, owing to the different area of the root canal under study. Previous studies examined the entire length of the canal (apical third to furcation), whereas the current research focused exclusively on the major foramen. The Glossary of Endodontic Terms of the American Association of Endodontists (2003) defines transportation as “the removal of canal wall structure on the outside curve in the apical half of the canal due to the tendency of files to restore themselves to their original linear shape during canal preparation”. Apical transportation may promote the harbouring of debris and residual microorganisms as a result of insufficient cleaning of the root canals.

According to McSpadden (2007), less canal transportation occurs when the file that is used has greater flexibility, an asymmetrical cross-sectional design, and/or a radial land. Transportation of the major foramen after preparation with either the ProTaper or Vortex files was evident. This might be explained by the tapers of the instruments used in this study, in conjunction with the sharp cutting edges of these instruments (neither of the systems has a radial land), and the fact that neither of the systems has an asymmetrical cross-sectional design (McSpadden 2007). Radial lands are especially effective in supporting the edge of the cutting angle and reducing canal transportation because they help to distribute the pressure of the blades more uniformly around the circumference of a curved canal. This is in contrast to files that lack radial lands, which concentrate all the pressure of the cutting edges on the canal wall and tend to straighten the curvature (McSpadden 2007). The size of the taper is one of the main factors involved in apical root transportation because an increase in the taper reduces instrument flexibility (McSpadden 2007, Schäfer *et al.* 2003). Schäfer *et al.* (2003) concluded from their research on the relationship between taper

size and flexibility that Ni-Ti files with tapers greater than 0.04 should not be used for apical enlargement of curved canals.

Conclusions

In most samples, the ProTaper Universal and ProFile Vortex files resulted in transportation of the major foramen and created an oval major foramen after overinstrumentation of the major foramen.

References

Aguiar CM, de Andrade Mendes D, Câmara AC, de Figueiredo JA (2009) Evaluation of the centring ability of the ProTaper Universal rotary system in curved roots in comparison to Nitiflex files. *Australian Endodontic Journal* **35**, 174-9.

Arias A, Azabal M, Hidalgo JJ, de la Macorra JC (2009) Relationship between postendodontic pain, tooth diagnostic factors, and apical patency. *Journal of Endodontics* **35**, 189-92.

Bardsley S, Peters CI, Peters OA. (2011) The effect of three rotational speed settings on torque and apical force with vortex rotary instruments in vitro. *Journal of Endodontics* **37**, 860-4.

Bertrand MF, Lupi-Pégurier L, Médioni E, Muller M, Bolla M (2001) Curved molar root canal preparations using Hero 642 rotary nickel-titanium instruments. *International Endodontic Journal* **34**, 631-6.

Bowman CJ, Baumgartner JC (2002) Gutta-percha obturation of lateral grooves and depressions. *Journal of Endodontics* **28**, 220-3.

Câmara AS, de Castro Martins R, Viana ACD, de Toledo LR, Buono VTL, de Azevedo Bahia MG (2009) Flexibility and torsional strength of Protaper and Protaper universal rotary instruments assessed by mechanical tests. *Journal of Endodontics* **35**, 113-6.

Cianconi L, Angotti V, Felici R, Conte G, Mancini M (2010) Accuracy of three electronic apex locators compared with digital radiography: an ex vivo study. *Journal of Endodontics* **36**, 2003-7.

Di Fiore PM, Genov KA, Komaroff E, Li Y, Li L (2006) Nickel-titanium rotary instrument fracture: a clinical practice assessment. *International Endodontic Journal* **39**, 700-8.

Dummer PMH, Al Omari MAO, Bryant S (1998) Comparison of the performance of four files with rounded tips during shaping of simulated root canals. *Journal of Endodontics* **24**, 364-71

Dunlap CA, Remeikis NA, Begole EA, Rauschenberger CR (1998) An in vivo evaluation of an electronic apex locator that uses the ratio method in vital and necrotic canals. *Journal of Endodontics* **24**, 48-50.

ElAyouti A, Weiger R, Löst C (2001) Frequency of overinstrumentation with an acceptable radiographic working length. *Journal of Endodontics* **27**, 49-52.

Gambill JM, Alder M, del Rio CE (1996) Comparison of nickel-titanium and stainless steel hand file instrumentation using computed tomography. *Journal of Endodontics* **22**, 369-75.

Gao Y, Shotton V, Wilkinson K, Phillips G, Johnson WB (2010) Effects of raw material and rotational speed on the cycling fatigue of ProFile Vortex rotary instruments. *Journal of Endodontics* **36**, 1205-9.

Glossary of Endodontic Terms (2003), 7th ed. American Association of Endodontists.

Glossen CR, Haller RH, Dove SB, del Rio CE (1995) A comparison of root canal preparations using Ni-Ti hand, Ni-Ti engine-driven, and K-Flex endodontic instruments. *Journal of Endodontics* **21**, 146-51.

Gonzalez Sanchez J. A, Duran-Sindreu F, Albuquerque Matos M, Garcia Carabaño T, Mercade Bellido M, Morello Castro S, Roig Cayón M (2010), Apical transportation created using three different patency instruments. *International Endodontic Journal* **43**, 560-4.

Haapasalo M, Endal U, Zandi H, Coil JM. (2005) Eradication of endodontic infection by instrumentation and irrigation solutions. *Endodontic Topics* **10**, 77-102.

Haapasalo M, Udnaes T, Endal U (2003) Persistent, recurrent, and acquired infection of the root canal system post-treatment. *Endodontic Topics* **6**, 29-56

Hülsmann M, Gressmann G, Schäfers F (2003) A comparative study of root canal preparation using FlexMaster and HERO 642 rotary Ni-Ti instruments. *International Endodontic Journal* **36**, 358-66.

Javaheri HH, Javaheri GH (2007) A comparison of three Ni-Ti rotary instruments in apical transportation. *Journal of Endodontics* **33**, 284-6.

Jakobson SJ, Westpalhen VPD, da Silva Neto UX, Fariniuk LF, Picoli F, Carneiro E (2008) The accuracy in the control of the apical extent of rotary canal instrumentation using Root ZX and ProTaper instruments: an in vivo study. *Journal of Endodontics* **34**, 1342-5.

Johnson E, Lloyd A, Kuttler S, Namerow K (2008) Comparison between a novel nickel titanium alloy and 508 Nitinol on the cyclic fatigue life of ProFile 25/.04 rotary instruments. *Journal of Endodontics* **34**, 1406-9.

Kum KY, Spångberg L, Cha BY, Il-Young J, Seung-Jong L, Chan-Young L (2000) Shaping ability of three ProFile rotary instrumentation techniques in simulated resin root canals. *Journal of Endodontics* **26**, 719-23.

Kunert GG, Camargo Fontanella VR, de Moura AA, Barletta FB (2010) Analysis of apical root transportation associated with ProTaper Universal F3 and F4 instruments by using digital subtraction radiography. *Journal of Endodontics* **36**, 1052-5.

López FU, Fachin EV, Camargo Fontanella VR, Barletta FB, Só MV, Grecca FS (2008) Apical transportation: a comparative evaluation of three root canal instrumentation techniques with three different apical diameters. *Journal of Endodontics* **34**, 1545-8.

Marroquin BB, El-Sayed MA, Willershausen-Zönnchen B (2007). Morphology of the physiological foramen: I. Maxillary and mandibular molars. *Journal of Endodontics* **30**, 321-8.

McSpadden JT (2007) *Mastering endodontic instrumentation*. Chattanooga, Tennessee, USA: Cloudland Institute.

Ounsi HF, Franciosi G, Paragliola KAH, Salameh Z, Tay FR, Ferrari M, Grandini S (2011) Comparison of two techniques for assessing the shaping efficacy of repeatedly used Nickel-Titanium rotary instruments. *Journal of endodontics* **37**, 847-50.

Paqué F, Barbakow F, Peters OA (2005) Root canal preparation with Endo-Eze AET: changes in root canal shape assessed by micro-computed tomography. *International Endodontic Journal* **38**, 456-64.

Pascon EA, Marrelli M, Congi O, Ciancio R, Miceli F, Versiani MA (2009) An ex vivo comparison of working length determination by 3 electronic apex locators. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, Endodontics* **108**, e147-e51.

Powell SE, Wong PD, Simon JHS (1998) A comparison of the effect of modified and non-modified instrument tips on apical canal configuration. Part II. *Journal of Endodontics* **14**, 224-8.

Pratten DH, McDonald NJ (1996) Comparison of radiographic and electronic working lengths. *Journal of Endodontics* **22**, 173-6.

Pruett JP, Clement DJ, Carnes DL Jr (1997) Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments. *Journal of Endodontics* **23**, 77-85.

Rhodes JS, Pitt Ford TR, Lynch JA, Liepins PJ, Curtis RV (1999) Micro-computed tomography: a new tool for experimental endodontology. *International Endodontic Journal* **32**, 165-70.

Schäfer E, Lohmann D (2002) Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile-Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. *International Endodontic Journal* **35**, 505-13.

Schäfer E, Dammaschke T (2006) Development and sequelae of canal transportation. *Endodontic Topics*, **15**: 75-90

Schäfer E, Dzepina A, Danesh G (2003) Bending properties of rotary nickel-titanium instruments. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, Endodontics* **96**, 757-63.

Shabahang S, Goon WW, Gluskin AH (1996) An in vivo evaluation of Root ZX electronic apex locator. *Journal of Endodontics* **22**, 616-8.

Siqueira JF (2001) Aetiology of root canal treatment failure: why well-treated teeth can fail. *International Endodontic Journal* **34**, 1-10.

Siqueira JF, Rocas IN, Favieri A et al. (2002) Incidence of postoperative pain after intracanal procedures based on antimicrobial strategy. *Journal of Endodontics* **28**, 457–60.

Siqueira (2005) Reaction of periradicular tissues to root canal treatment: benefits and drawbacks. *Endodontic Topics* **10**, 123-147.

Siu C, Marshall JG, Baumgartner JC, Marshall JG (2009) An in vivo comparison of the Root ZX II, the Apex NRG XFR, and Mini Apex Locator by using rotary nickel-titanium files. *Journal of Endodontics* **35**, 962–5.

Sjögren U, Hägglund B, Sündqvist G, Wing K (1990) Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *Journal of Endodontics* **16**, 498–504.

Stöber EK, de Ribot J, Mercadé M. Vera J, Bueno R, Roig M, Duran-Sindreu F (2011a) Evaluation of the Raypex 5 and the Mini Apex locator: An in vivo study. *Journal of Endodontics* **37**, 1349-52.

Stöber EK, Duran-Sindreu F, Mercadé M. Vera J, Bueno R, Roig M (2011b) An evaluation of Root Zx and iPex apex locators: An in vivo study. *Journal of Endodontics* **37**, 608-10.

Sydney GB, Batista A, De Mello LL (1991) The radiographic platform: a new method to evaluate root canal preparation in vitro. *Journal of Endodontics* **17**, 570–2.

Torabinejad M, Kettering JD, McGraw JC, Cummings RR, Dwyer TG, Tobias TS (1988) Factors associated with endodontic interappointment emergencies of teeth with necrotic pulps. *Journal of Endodontics* **14**, 261–6.

Uzun O, Topuz O, Tinaz C, Nekoofar MH, Dummer PMH (2008) Accuracy of two root canal length measurement devices integrated into rotary endodontic motors when removing gutta-percha from root-filled teeth. *International Endodontic Journal* **41**, 725–32.

Vaudt J, Bitter K, Neumann K., and Kielbassa AM (2009) *Ex vivo* study on root canal instrumentation of two rotary nickel–titanium systems in comparison to stainless steel hand instruments. *International Endodontic Journal* **42**, 22–33

Wrbas KT, Ziegler AA, Altenburger MJ, Schirrmeister JF (2007) In vivo comparison of working length determination with two electronic apex locators. *International Endodontic Journal* **40**, 133–8.

Yang, GB, Zhou XD, Zhang H, Wu HK (2006) Shaping ability of progressive versus constant taper instruments in simulated root canals. *International Endodontic Journal* **39**, 791–9.

Yang GB, Zhou XD, Zheng YL, Zhang H, Shu Y, Wu HK (2007) Shaping ability of progressive versus constant taper instruments in curved root canals of extracted teeth. *International Endodontic Journal* **40**, 707–14.

4.3 LIMA DE PERMEABILIDAD: CAPACIDAD DE CENTRADO Y DEFORMACIÓN. ESTUDIO IN VITRO.

Artículo aceptado para su publicación en la revista Endodoncia



Lima de permeabilidad: Capacidad de centrado y deformación. Estudio in vitro.

Patency File: Centring ability and deformation. An in vitro study.

J.A. González Sánchez¹, F. Durán-Sindreu Terol², S. De Noé Hernandez¹, M. Mercadé Bellido³, A. González Sánchez⁴, M. Roig Cayón⁵.

Departamento de Endodoncia y Terapeutica dental. Universidad Internacional de Cataluña. Barcelona (España)

Revista : Endodoncia

Aceptado para publicación: 13 de febrero de 2012

Editor: Josep Pumarola Suñé

Resumen

Objetivo: Fue evaluar el transporte y la capacidad de centrado del foramen mayor, después de utilizar las limas K#10 de acero inoxidable y las limas C-Pilot como limas de permeabilidad.

Material y Métodos: Se emplearon veintiocho conductos mesiovestibulares de primeros molares mandibulares y maxilares, que fueron divididos en dos grupos de 14 muestras cada uno. Las limas K#10 de acero inoxidable y C-Pilot#10 se utilizaron como instrumentos de permeabilidad en los grupos A y B respectivamente. El foramen mayor fue fotografiado antes y después de realizar la permeabilización de cada conducto. Las imágenes fueron superpuestas con el programa Photoshop y analizadas con el programa Autocad. Los parámetros que se evaluaron fueron la cantidad de transporte, la capacidad de centrado, el área y el perímetro. La capacidad de centrado y el transporte fueron calculados en dos direcciones: dirección de máxima curvatura (MC) y dirección vertical a máxima curvatura (VC). El análisis estadístico se realizó con el test de Anova.

Resultados: No encontramos diferencias significativas entre ambos instrumentos en la capacidad de centrado y la cantidad de deformación en cada una de las direcciones evaluadas (MC y VC) ($P > 0,05$). Encontramos diferencias significativas en el área entre los grupos A y B ($P = 0.03$) y en el perímetro entre ambos grupos ($P = 0.029$).

Conclusiones: No encontramos diferencias significativas en la cantidad de deformación y la capacidad de centrado de las limas K#10 de acero inoxidable y las limas C-Pilot cuando fueron utilizadas como instrumentos de permeabilidad.

Palabras Clave: Lima de Permeabilidad, Capacidad de centrado, Transporte apical, Deformación apical.

Abstract

Objective: The aim of this study was to evaluate root canal transportation and centring ability at the major foramen through the use of stainless steel size 10 K-Flex files and size 10 C-pilot files when used as patency files.

Materials and Methods: Twenty-eight mesiobuccal Canals of maxillary and mandibular first molars were divided into two groups of 14 canals each. Size 10 stainless steel K-Flex files and size 10 C-Pilot files were used as patency instruments in groups A and B respectively. The major foramen was photographed before and after instrumentation. The images were superimposed and then evaluated using Adobe Photoshop and Autocad. The parameters evaluated were canal transportation, centring ability perimeter and area. Transportation and centring ability were calculated in two directions: the direction of maximum curvature (MC) and a direction vertical to the maximum curvature (VC). The statistical analysis was performed using Anova test.

Results: No significant differences were observed amongst the different instruments with respect to centring ability and transportation in either direction ($P > 0,05$). Significant differences were observed in the area between groups A and B ($P = 0.03$) and in the perimeter between groups A and B ($P = 0.029$).

Conclusions: No statistical differences were found in transportation and centring ability when size 10 K-file and size 10 C-Pilot file were used as patency file.

Keywords: Patency file, Centring ability, apical deformation, apical transport.

Introducción

La acumulación de detritus durante la instrumentación puede conllevar un bloqueo en el acceso al tercio apical de los conductos radiculares^(1,2), lo cual aumenta la probabilidad de producir transporte apical, escalones y perforaciones apicales⁽³⁾. Actualmente, según algunos autores, el mantenimiento de la permeabilidad apical está recomendada durante los procedimientos endodónticos de conformación y limpieza⁽⁴⁾, con el fin de prevenir la acumulación de detritus en la región apical^(1,3) permitiendo de esta manera el acceso de las soluciones irrigantes a la zona apical del conducto⁽⁵⁾.

El límite apical de la instrumentación de conductos radiculares aún es un punto controvertido en endodoncia⁽⁶⁾. La posibilidad de agresión a los tejidos periapicales ha soportado el principio de que la longitud de trabajo debe de ser corta en relación al ápice radiográfico^(7,8). Diferentes conceptos y fórmulas han sido propuestos para la determinación de la longitud de trabajo, siendo la más ampliamente aceptada a 1mm del ápice radicular. De acuerdo a las recomendaciones de Weine, la longitud de trabajo debería de ser 1, 1.5 o 2mm más corta del término radiográfico dependiendo del estado periapical y el hueso alveolar alrededor del diente⁽⁹⁾. Sin embargo, esto significa que la porción remanente del conducto en la mayoría de los casos quedará sin ser instrumentada, dejando 1-2mm de porción apical del conducto con restos pulpares intactos o detritus dentinarios y microorganismos. De acuerdo con Cohen y Burns⁽¹⁰⁾, 1mm de conducto radicular con un diámetro de 0,25mm, proporciona suficiente espacio para albergar a casi 80.000 *Streptococcus*⁽¹¹⁾. Por todo esto el mantenimiento de la permeabilidad apical es esencial durante los procesos de preparación biomecánicos mediante la utilización de la lima de permeabilidad.

La permeabilidad está definida en el glosario de términos de la Asociación Americana de Endodoncia como “una técnica de preparación de conductos en la que la porción apical se mantiene libre de detritus mediante la recapitulación mediante una lima de pequeño calibre que es introducida a través del foramen apical”⁽³⁷⁾. Buchanan definió la lima de permeabilidad, como una lima flexible de pequeño calibre, que es

introducida de forma pasiva a través de la constricción apical 0.5-1mm mas allá del foramen menor, sin ensancharlo ⁽¹⁾.

Una de las razones alegadas para no utilizar la lima de pasaje es la posible extrusión de detritus a través del foramen apical, aunque autores como Izu et al.⁽¹²⁾ han demostrado que las limas de permeabilidad pueden ser desinfectadas mediante el NaOCl al 5,25 presente en el conducto durante la irrigación. El término de permeabilidad es controvertido entre los profesionales⁽¹³⁾. Algunos piensan que el paso repetido de limas, a pesar de su pequeño tamaño, a través del ápice pueden causar una respuesta inflamatoria periapical aguda ^(3,14). Sin embargo, en varios estudios no se han presentado complicaciones como el aumento del dolor postoperatorio ⁽²⁾ o el transporte del foramen mayor ⁽¹⁵⁾.

Recientemente, se han introducido en el mercado las limas de acero inoxidable C-Pilot (VDW, Munich, Germany), que presentan una punta inactiva y mayor rigidez, las cuáles están indicadas para conductos con curvaturas severas o calcificados. Según el fabricante, presentan una alta fuerza de desdoblamiento debido a un especial proceso de endurecimiento termal durante su fabricación.

El objetivo de nuestro estudio fue evaluar cuantitativamente la capacidad de centrado y el transporte producido por las limas K#10 y las limas C-Pilot 10 cuando se utilizaron como limas de permeabilidad apical.

Material y Métodos

Para la realización de este estudio se utilizaron raíces mesio-vestibulares de primeros molares permanentes (14 de primeros molares superiores y 14 de primeros molares inferiores) con ápices bien formados y sin ningún tratamiento endodóntico previo.

Los dientes se limpiaron con hipoclorito de sodio (NaOCl) al 4,2% (Lejía Conejo, Henckel Iberica, España) durante cuatro horas. Después fueron lavados y guardados

en solución salina durante una semana a temperatura ambiental. Se realizó una distribución de las raíces en dos grupos, dividiendo equitativamente el número de conductos, tipo de molar, curvatura y el radio entre los dos grupos. El ángulo y radio de curvatura de cada conducto fueron determinados mediante radiografías periapicales (Kodak RVG 6100; Kodak, Rochester, NY, USA), de acuerdo con el método descrito por Pruett ⁽¹⁶⁾. La media de los ángulos y radio de curvatura y la desviación estándar de los conductos utilizados fue $32,47^{\circ} \pm 9,21$ y $5,02^{\circ} \pm 1,47$ mm.

Preparación de las muestras

Todas las muestras fueron estandarizadas a una longitud de 18mm. Cada diente fue colocado en un posicionador de silicona (Optosil Plus HERAEUS KULZER, Hanau, Germany) individualizado que dejaba la porción apical de cada raíz expuesta. El diente podía ser removido fácilmente del posicionador para permitir las tareas de permeabilización e irrigación, pudiendo recolocarse en la misma posición para su observación. El posicionador de silicona se ajustaba a su vez a una base acrílica que estaba fijada a un estereomicroscopio Olympus® con el que se podía observar el foramen mayor de cada raíz. Cada raíz fue iluminada y orientada de manera que el foramen mayor quedaba paralelo a la lente del objetivo de estereomicroscopio, permitiendo una entera visualización del mismo. El foramen mayor fue fotografiado con una cámara de 35mm y magnificación de 20x. (F01) (Fig.1)

La longitud de trabajo estimativa fue determinada con una lima K#08, la cual fue introducida hasta que se observaba con el estereomicroscopio la punta a través del foramen mayor. Se fijó el tope de goma de la lima y se midió, a esta distancia se le restó 0,5mm y esa fue la medida utilizada para la longitud de trabajo.

Los conductos fueron instrumentados (Tabla 1) y se dividieron en dos grupos experimentales (n=14).

Grupo A: Los conductos se permeabilizaron con una lima K-flex de calibre 10 (Dentsply Maillefer, Bellaigues, Switzerland). La lima de pasaje K#10, se introdujo de

forma pasiva en el conducto hasta que la punta del instrumento sobrepasaba 1mm a través del foramen mayor.

Grupo B: Los conductos se permeabilizaron con una lima C-Pilot® de calibre 10 (VDW, Munich, Germany). Los instrumentos se utilizaron como en el grupo A. Se tomaron fotografías post-instrumentación (F02) del foramen mayor, después de la permeabilización de cada conducto, siguiendo un método idéntico al usado para la toma de la fotografía inicial.

Todas las fotografías fueron transferidas al programa informático Adobe Photoshop (Adobe System, Inc, San Jose, USA) para marcar el perímetro del foramen mayor. Cada fotografía post-permeabilización (F02) fue transparentada al 50% con ayuda del programa Photoshop y se superpuso a la fotografía inicial (F01) de cada muestra⁽¹⁷⁾. Todas las muestras fueron marcadas cerca del ápice antes de la toma de las fotografías para asegurar la exactitud en la superposición de las fotografías.

Las imágenes superpuestas fueron transferidas al programa AutoCad (Autodesk Incorporated), y se calculó el Centro de Gravedad (CG) de cada foramen apical (Fig.2). El CG es la localización media de todas las masas en un sistema cerrado⁽¹⁸⁾.

Se analizaron los siguientes parámetros en AutoCad, para comprobar la deformación producida por los instrumentos:

Perímetro:

Se realizó la medida del contorno del foramen mayor antes y después de la utilización de la lima de permeabilidad

Área:

Se midió la extensión de la superficie del foramen antes y después de la utilización de la lima de permeabilidad.

Transporte:

El transporte fue medido de acuerdo con el método descrito por Yang⁽¹⁹⁾. El transporte fue medido en dos ejes: Eje de máxima curvatura (MC) y eje perpendicular al eje de máxima curvatura (VC) (Fig. 03).

Capacidad de Centrado

Fue calculada de la relación T'/T'' o T''/T' , de acuerdo al método descrito por Gambill⁽²⁰⁾, donde T es la distancia medida en la perpendicular entre el perímetro del foramen inicial y el perímetro del foramen final, se estableció T' en el eje (+) y T'' en el eje (-), tomando como punto de inicio el Centro de Gravedad, Se midió en dos ejes, al igual que el transporte, MC y VC. Un valor igual a "1" indicaba un perfecto centrado del instrumento (Fig. 03).

Análisis estadístico

Se realizó un Test de ANOVA para ver si había diferencias significativas entre ambos grupos. En los casos que se encontraron diferencias entre ambos grupos se utilizó la prueba de múltiples rangos para determinar qué medias eran significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Resultados

Transporte:

La cantidad de deformación (transporte), fue evaluada en dos ejes distintos, el eje de máxima curvatura (MC) y el eje vertical al de máxima curvatura (VC). El promedio de deformación en el eje de MC fue de $3,96 \pm 5,58 \mu\text{m}$ para la lima K#10 y de $7,30 \pm 4,68 \mu\text{m}$ para el grupo permeabilizado con la lima C+. Al realizar el test de ANOVA no

encontramos diferencias significativas entre los grupos de ambos instrumentos ($p=0,098$). (Fig 4).

El promedio de deformación en el eje VC en las muestras permeabilizadas con la lima C+ fue de $7,05 \pm 7,32 \mu\text{m}$ y de $3 \pm 2,92 \mu\text{m}$ para el grupo en el que se utilizó la lima K#10. Al realizar el test de ANOVA entre ambos grupos no encontramos diferencias significativas entre ellos ($p=0,065$). (Fig 5).

Capacidad de Centrado:

La capacidad de ambos instrumentos para conservar la centricidad del conducto fue evaluada mediante el cociente de centrado. En el eje de Máxima Deformación el promedio en la capacidad de mantener centrado el conducto por las limas C+ fue de $0,31 \pm 0,28$, en el grupo de la lima K#10 el promedio de capacidad de centrado en el mismo eje fue de $0,38 \pm 0,29$. (Fig 6) Al realizar el Test de ANOVA entre ambos Grupos no obtuvimos diferencias significativas ($p=0,53$).

El promedio de capacidad de centrado en el eje Vertical a Maxima Deformación para el grupo de la lima C+ fue de $0,25 \pm 0,29$ y de $0,36 \pm 0,28$ para el grupo en el que se utilizó la lima K#10. (Fig.7) No obtuvimos diferencias significativas entre ambos grupos ($p=0,32$).

Área:

En el grupo de la lima C+ después de la utilización de la lima de pasaje obtuvimos un promedio de área de $4065,41 \pm 2487,92 \mu\text{m}$. El promedio del área en el grupo de la lima K#10 fue $1898,2 \pm 2617,74 \mu\text{m}$. Al realizar el test de ANOVA encontramos diferencias significativas entre ambos grupos ($p=0,03$).

El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher, con un nivel de confianza del 95,0%. Al realizar el test de múltiples rangos con el LSD encontramos una diferencia de 2167,21 con límites de $\pm 1983,98$, de la lima C+ respecto a la lima K#10

Perímetro:

El promedio de valores obtenidos para el perímetro en el grupo de la lima C+ después de ser utilizada como lima de pasaje fue de $54,2625 \pm 40,2173 \mu\text{m}$. El promedio del perímetro en el grupo de la lima K#10 fue de $17,5279 \pm 11,6509 \mu\text{m}$. Realizamos el Test de ANOVA entre ambos grupos y obtuvimos un p-valor de 0,029, por lo que encontramos que había diferencias significativas. Al realizar el test de múltiples rangos con el procedimiento LSD encontramos una diferencia 36,7346 con límites de $\pm 23,0024$, de la lima C+ con respecto a la lima K#10.

Discusión

El objetivo de nuestro estudio fue evaluar la deformación producida por las limas K#10 y C+ en el foramen mayor y su capacidad para mantener centrado el mismo al ser utilizadas como limas de permeabilidad.

Las limas de pasaje fueron utilizadas de acuerdo a la técnica descrita por Buchanan⁽¹⁾, es decir, sin precurvar el instrumento y moviéndolo de forma pasiva 1mm a través del foramen mayor. El estudio fue realizado siguiendo un protocolo de comparación de fotografías apicales al igual que Goldberg y Massone⁽²¹⁾ y González y col.⁽¹⁶⁾.

Todos los instrumentos fueron capaces de realizar la permeabilización de las muestras utilizadas. No encontramos diferencias significativas entre los dos grupos estudiados en el transporte producido en el foramen mayor en ninguno de los dos ejes analizados. Tampoco encontramos diferencias significativas entre los dos grupos en la capacidad de mantener el conducto centrado en ninguno de los dos ejes.

La instrumentación de la región apical, reconocida como “la zona de instrumentación crítica”⁽²²⁾, ha sido ampliamente considerada y estudiada por su crucial importancia

en los métodos de limpieza y conformación. Durante los procesos de instrumentación virutas de dentina pueden ser ocasionalmente y de forma accidental compactados en la porción apical del conducto actuando como una barrera y produciendo un bloqueo del foramen ⁽²³⁾.

La permeabilidad apical durante el tratamiento de conductos radiculares se debe de conservar con la intención de mantener el acceso al foramen libre (objetivo mecánico), pero es importante que además después de la instrumentación el foramen además de libre de detritus se mantenga limpio (Objetivo biológico) ⁽²⁴⁾. Vera y cols. han demostrado recientemente que el mantenimiento de la permeabilidad apical con una lima K-10 facilita la llegada de irrigantes al tercio apical del conducto ⁽²⁵⁾, además la utilización de la lima de pasaje es capaz de remover las burbujas de aire del interior del conducto radicular o inhibir el efecto “vapor lock” ⁽²⁵⁾.

Por tanto hay dos objetivos principales en la instrumentación del milímetro más apical de los conductos radiculares: la primera (mecánica), la permeabilidad apical está concebida para mantener la longitud de trabajo. La segunda (biológica), la limpieza apical es necesaria para eliminar las infecciones en la porción apical, por tanto desde un punto de vista biológico (en casos de necrosis apicales con o sin lesión periapical) deben de ser llevados a cabo ambos objetivos⁽²⁶⁾.

Aproximadamente el 50% de las facultades de odontología de Estados Unidos enseñan el concepto de permeabilidad ⁽³⁾, sin embargo el uso de esta técnica es controvertida por sus consecuencias como los daños sobre los tejidos periapicales ^(7,8), el sobre-ensanchamiento del foramen mayor ⁽²⁵⁾, la fractura de chips de dentina y cemento del ápice ^(8,27), el dolor postoperatorio^(28,29) y los procesos biológicos de curación⁽³⁰⁾.

Gutierrez ⁽³¹⁾ en su estudio encontró fracturas de cemento después de la utilización de la lima K#15. Más recientemente, Adorno y cols. ⁽³²⁾ demostraron que el uso de limas rotatorias más allá del foramen apical podía producir fracturas del cemento apical. En nuestro estudio no encontramos fracturas de cemento después del uso de

la lima de permeabilidad, con el que podemos comprobar que la alteración del foramen apical después de su utilización es mínima.

Tradicionalmente las limas de acero inoxidable y de pequeño calibre han sido utilizadas para realizar la primera exploración del conducto, sin embargo, los instrumentos que se utilizan en la exploración de los conductos deben de tener suficiente resistencia al pandeo (flexión de la lima provocada por la compresión lateral) y facilitar el acceso al tercio apical de los conductos⁽³³⁾. Para solucionar este problema, Kobayashi comprimió la punta de una lima K#10 con un disco de diamante con el fin de mantener la rigidez del instrumento cuando disminuía el tamaño de la punta ⁽³⁴⁾.

Actualmente, varios fabricantes han realizado variaciones en sus limas modificando la geometría de la punta, usando combinaciones de carbono y acero, o aumentando la temperatura durante el proceso de manufacturación del acero inoxidable ⁽³⁵⁾.

Las limas C-Pilot (VDW) son instrumentos de acero inoxidable diseñados para la exploración del conducto que según estudios previos presentan menos susceptibilidad al bandeo ⁽³⁶⁾, poseen un diámetro apical D0 de 0.10mm y una conicidad de 0.02mm durante todo el instrumento y presentan una mayor resistencia de flexión que los instrumentos convencionales debido a un proceso de endurecimiento termal durante el proceso de fabricación.

En nuestro estudio los instrumentos C-Pilot® no produjeron un mayor transporte del foramen apical ni tampoco conductos más descentrados, pese a tener una mayor rigidez que las limas de acero inoxidable convencional. Sin embargo al comparar estadísticamente el perímetro inicial y después del uso de los instrumento en ambos casos, obtuvimos que las muestras en las que se habían utilizado los instrumentos tratados térmicamente durante su fabricación producían perímetros significativamente mayores que los del otro grupo. En el grupo de las limas C-Pilot® obtuvimos una media de variación del perímetro de 0,054mm, que equivale a un diámetro de 0,017mm. En el grupo de las limas K obtuvimos una media de variación del perímetro de 0,017mm, que equivale a un diámetro de 0,005mm. Así podemos confirmar que el aumento del perímetro fue significativamente mayor en el grupo

permeabilizado con las limas C-Pilot pero sin embargo la variación de diámetro en ambos casos no alcanzó 0,10mm (el tamaño de la punta de estos instrumentos), siendo despreciable a nivel clínico la variación de tamaño del foramen mayor.

Conclusiones

No encontramos diferencias estadísticamente significativas en la deformación y la capacidad de mantener el conducto centrado entre las limas k#10 de acero inoxidable y las limas C-Pilot al ser utilizadas como limas de permeabilidad

Bibliografía

- 1 Buchanan LS. Management of the curved root canal. J Calif Dent Assoc 1989; 17, 18-27.
- 2 Arias A, Azabal M, Hidalgo JJ, de la Macorra JC. Relationship between postendodontic pain, tooth diagnostic factors, and apical patency. J Endod 2009; 35: 189- 92.
- 3 Cailleateau JG, Mullaney TP. Prevalence of teaching apical patency and various instrumentation and obturation techniques in United States dental schools. J Endod 1997; 23: 394-6.
- 4 Monsef M, Hamedzadeh K, Soluti A. Effect of apical patency on the apical seal of obturated canals. J Endod 1997; 23: 253

5 Berutti E. and Castellucci A. Endodontics. Cleaning and shaping the root canal system. En: "Endodontics Vol.2" A. Castellucci. Florence: Edizioni Odontoiatriche il Tridente; 2004. p. 396-437.

6 Negishi J, Kawanami M, Ogami E. Risk analysis of failure of root canal treatment for teeth with inaccessible apical constriction. *J Dent* 2005; 33:399-404.

7 Ricucci D. Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 1. Literature review. *Int Endod J* 1998; 31: 384-93.

8 Ricucci D, Langeland K. Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 2. A histological study. *Int Endod J* 1998; 31: 394-409.

9 Weine F. *Endodontic Therapy* 5th Ed. St Louis Mosby; 1996. p. 398.

10 Cohen S, Burns RC. *Pathways of the pulp*. 6th ed. St. Louis: Mosby; 1994.

11 Vanni JR, Santos R, Limongi O, et al. Influence of cervical preflaring on determination of apical file size in maxillary molars: SEM analysis. *Braz Dent J* 2005; 16:181-6.

12 Izu KH, Thomas SJ, Zhang P, Izu AE, Michalek S. Effectiveness of sodium hypochlorite in preventing inoculation of periapical tissues with contaminated patency files. *J Endod* 2004; 30:92-4.

13 Tsesis I, Amdor B, Tamse A, Kfir A. The effect of maintaining apical patency on canal transportation. *Int Endod J* 2008; 41:431-5.

14 Martin H, Cunningham WT. The effect of endosonic and hand manipulation on the amount of root canal material extruded. *Oral Surg Oral Med, Oral Pathol* 1982; 53: 611-3.

15 Gonzalez Sanchez JA, Duran-Sindreu F, Albuquerque Matos M, et al. Apical transportation created using three different patency instruments. *Int Endod J* 2010; 43:560-4.

16 Pruett JP, Clement DJ, Carnes DL Jr. Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments. *J Endod* 1997;23, 77-85.

17 López FU, Fachin EV, Camargo Fontanella VR, Barletta FB, So' MV, Grecca FS. Apical transportation: a comparative evaluation of three root canal instrumentation techniques with three different apical diameters. *J Endod* 2008; 34: 1545-8.

18 Paqué F, Barbakow F, Peters OA. Root canal preparation with Endo-Eze AET: changes in root canal shape assessed by micro-computed tomography. *Int Endod J* 2005; 38; 456-64.

19 Yang GB, Zhou XD, Zhang H, Wu HK. Shaping ability of progressive versus constant taper instruments insimulated root canals. *Int Endod J* 2006; 39: 791-9.

20 Gambill JM, Alder M, del Rio CE. Comparison of nickeltitanium and stainless steel hand file instrumentation using computed tomography 1996; *J Endod* 22: 369-75.

21 Goldberg F, Massone EJ. Patency file and apical transportation: an in vitro study. *J Endod* 2002; 28: 510-1.

22 Simon JH. The apex: How critical is it? *Gen Dent* 1994;42:330-4.

23 Al-Omari MA, Dummer PM. Canal blockage and debris extrusion with eight preparation techniques. *J Endod* 1995; 21:154-8.

24 Souza R.A., The Importance of Apical Patency and Cleaning of the Apical Foramen on Root Canal Preparation *Braz Dent J* 2006; 17(1): 6-9

25 Vera J, Arias A, Romero M. Effect of Maintaining Apical Patency on Irrigant Penetration into the Apical Third of Root Canals When Using Passive Ultrasonic Irrigation: An In Vivo Study *J Endod* 2011; 37: 1276-8

- 26 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.
- 27 Fairbourn DR, McWalter GM, Montgomery S. The effect of four preparation techniques on the amount of apically extruded debris. *J Endod* 1987; 13: 102–8.
- 28 Siqueira JF Jr. Microbial causes of endodontic flare-ups. *Int Endod J* 2003; 36: 453–63.
- 29 Nobuhara W, Carnes D, Gilles J. Anti-inflammatory effects of dexamethasone on periapical tissues following endodontic overinstrumentation. *J Endod* 1993; 19:501–7.
- 30 Holland R, Sant’Anna A Jr, Souza V et al. Influence of apical patency and filling material on healing process of dogs’ teeth with vital pulp after root canal therapy. *Braz Dent J* 2005; 16: 9–16.
- 31 Gutierrez JH, Brizuela C, Villota E. Human teeth with periapical pathosis after overinstrumentation and overfilling of the root canals: a scanning electron microscopic study. *Int Endod J* 1999;32:40–8.
- 32 Adorno CG, Yoshioka T, Suda H. Crack Initiation on the Apical Root Surface Caused by Three Different Nickel-Titanium Rotary Files at Different Working Lengths. *J endod* 2006; 27: 522-5
- 33 Jafarzadeh H, Abbott PV. Ledge formation: review of a great challenge in endodontics. *J Endod* 2007;33:1155–62.
- 34 Kobayashi C. Penetration of constricted canals with modified K files. *J Endod* 1997;23:391–3.

35 Allen MJ, Glickman GN, Griggs JA. Comparative analysis of endodontic pathfinders. J Endod 2007; 33: 723-6.

36 Lopes HP, LD, Elias CN, PhD, Mangelli M, *et al.* Buckling Resistance of Pathfinding Endodontic Instruments J Endod 2012; 1-3

37 Glossary of Endodontic Terms. 7 th ed. American Association of Endodontists; 2003

Pies de tablas y Figuras:

Tabla 1: Secuencia de instrumentación y toma de fotografías del ápice.

Figura 1: Fotografía inicial del foramen mayor. (F01)

Figura 2: Fotografía inicial y final superpuestas. La línea rosa marca el perímetro del contorno del foramen inicial, la línea de color azul marca el perímetro del contorno del foramen mayor después de realizar la permeabilidad. El centro de Gravedad (CG) aparece marcado en rojo.

Figura 3: Definición de transporte ($T=T'/-T''$) y capacidad de centrado (ratio= T'/T'' o T''/T'). Representación de las dos direcciones: Eje máxima curvatura (verde) y Eje vertical a máxima curvatura (negro)

Figura 4: Grafica que representa la cantidad de deformación (transporte) en el eje de máxima curvatura (MC)

Figura 5: Grafica que representa la cantidad de deformación (transporte) en el eje vertical a máxima curvatura (VMC)

Figura 6: Grafica que representa la capacidad de centrado en el eje de máxima curvatura (MC)

Figura 7: Grafica que representa la capacidad de centrado en el eje vertical a máxima curvatura (VMC)

Tabla. 1

Paso	Instrumento	Utilización
1	Fotografía Inicial	
2	Lima K#08	Longitud de Trabajo estimada
3	Protaper S1	Pre-ensanchamiento Tercios coronal - Medio
4	Protaper SX	Pre-ensanchamiento Tercios Coronal - Medio
5	Lima K#10 Lima K#15 Lima K#20	"Glide-Path" hasta longitud de Trabajo
6	Instrumento de Permeabilidad Grupo A: K#10 Grupo B: C-Pilot 10	Permeabilización del conducto
7	Fotografía Final	

Fig.1

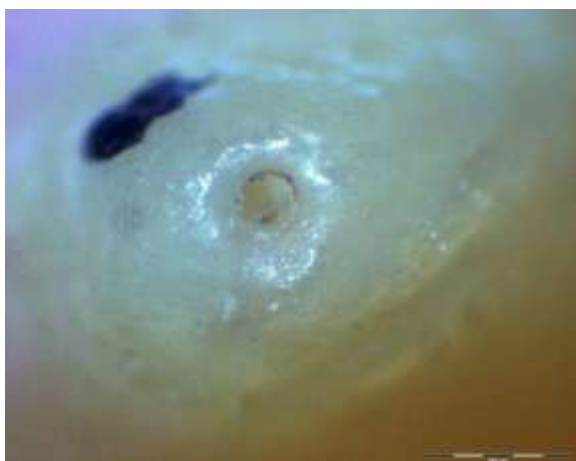


Fig.2

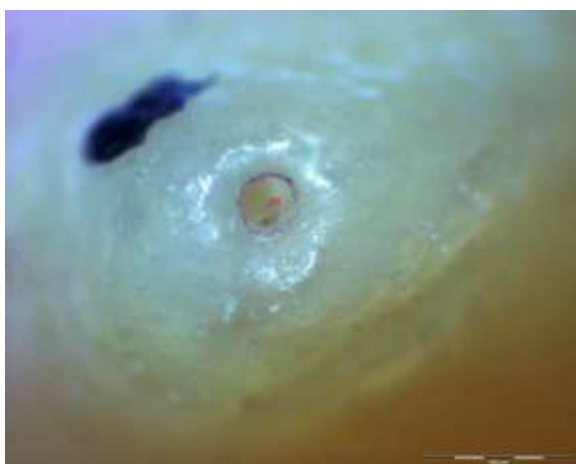


Fig. 03

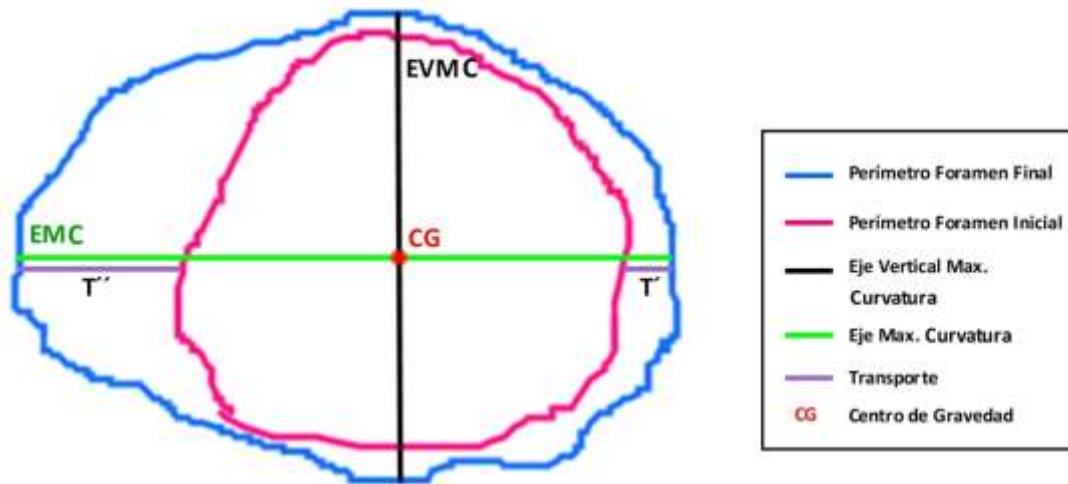


Fig. 04

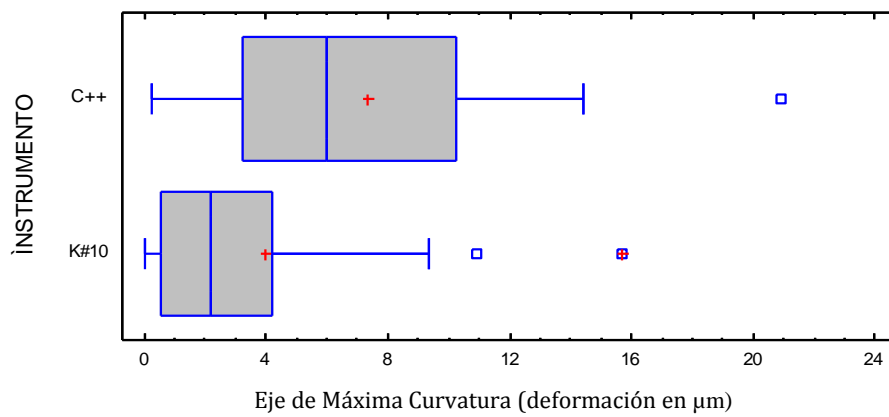


Fig. 05

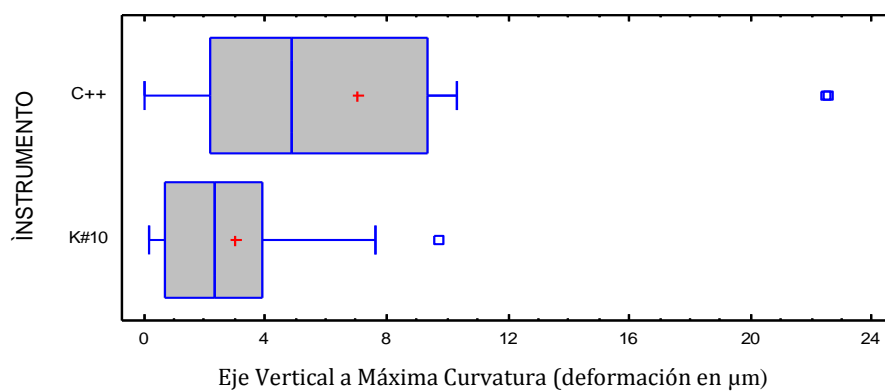


Fig.06

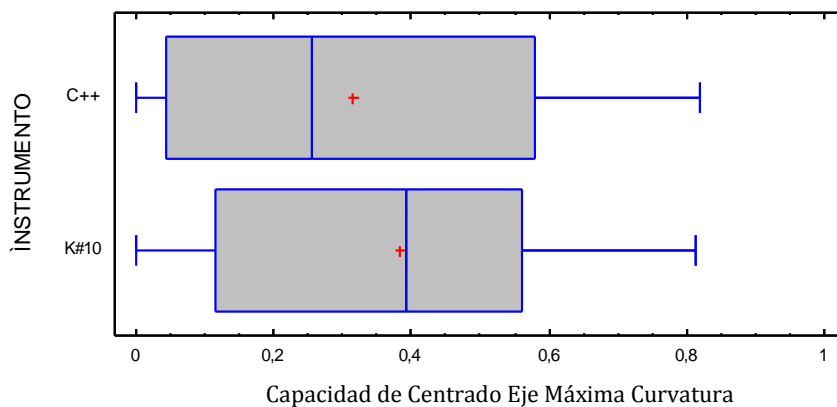
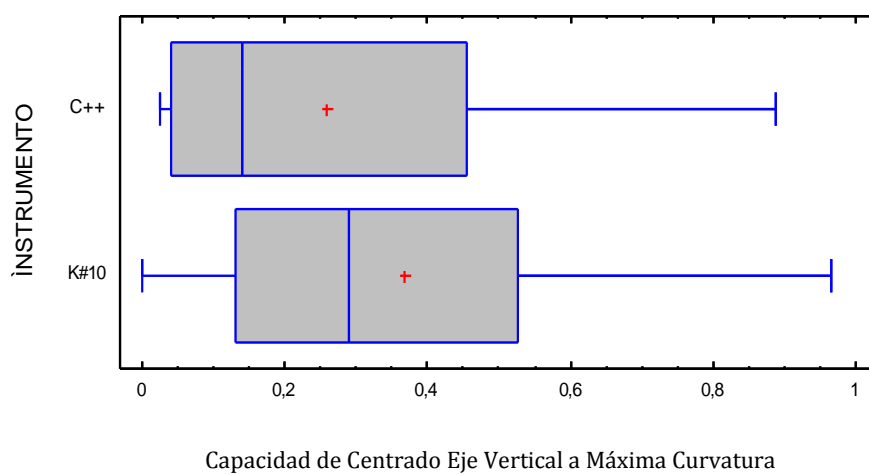


Fig.07



5. DISCUSIÓN

5. DISCUSIÓN

Durante la instrumentación, los restos dentinarios y pulpares pueden bloquear el acceso a las regiones más apicales del conducto, incrementando la posibilidad de complicaciones durante la instrumentación (52). El uso de la lima de permeabilidad ha sido defendida por varios autores como un método de precaución para disminuir las complicaciones durante el tratamiento endodóntico y como un factor predisponente para el éxito del mismo.

Goldberg & Massone (2002) (3), estudiaron el efecto de la lima de permeabilidad en el transporte del foramen apical después de la utilización de limas de tamaños #10-#25. Observaron la presencia de transporte del foramen mayor en 18 de las 30 muestras que analizaron. No encontraron diferencias entre la utilización de limas de acero inoxidable y limas de níquel-titanio y concluyeron que si se realiza la permeabilidad apical, ésta debería de hacerse con la lima de menor tamaño posible.

La sobre-obturación está relacionada con una disminución del éxito del tratamiento endodóntico (99, 100). El riesgo de sobre-obturación se incrementa después de una sobre-instrumentación del conducto. Un estudio con dientes humanos (101) extraídos que fueron sobre-instrumentados y sobre-obturados, reveló un gran porcentaje de bacterias firmemente unidas a las lagunas de reabsorción (“resorptive lacunae”) producidas en el foramen mayor por la sobre-instrumentación y en las espiras de las limas, permaneciendo las bacterias firmemente unidas al mismo.

La sobre-instrumentación de los ápices produce grandes cambios, incluidos fracturas o “zips” apicales (101), además del riesgo potencial que supone la presencia bacteriana en el desarrollo de dolor, disconfort clínico y posibles reagudizaciones.

Frecuentemente y durante la práctica del tratamiento de conductos podemos encontrarnos situaciones en las que sobrepasemos el foramen mayor con los instrumentos endodónticos.

El uso de la lima de permeabilidad está muy extendido, en el año 1997 más de la mitad de las facultades de odontología en Estados Unidos enseñaban su uso como práctica habitual (54). Autores como Buchannan también defienden su uso en la práctica diaria para evitar posibles complicaciones y facilitar la llegada del irrigante al final del conducto.

Además debemos de considerar otras situaciones en las que se puede producir una sobre-instrumentación del foramen mayor, éstas pueden producirse por la inexperiencia del operador o la errónea medida de la longitud de trabajo debido a la mala interpretación de las radiografías o la falta de precisión de los localizadores de ápices (60,87).

Un cálculo erróneo de la longitud de trabajo inicial, puede llevar a una sobre-instrumentación durante todo el proceso mecánico posterior de preparación del conducto. Actualmente la preparación endodóntica se realiza con instrumentos rotatorios de níquel-titanio, sin embargo no encontramos ninguna referencia bibliográfica que demuestren los cambios producidos en el foramen mayor después de la sobre-instrumentación con instrumentos rotatorios de Ni-Ti.

El objetivo global de ésta tesis doctoral fue realizar una evaluación de los cambios que se producen a nivel del foramen mayor, después de realizar la permeabilidad apical con diferentes tipos de instrumentos y después de realizar una sobre-instrumentación con las lima rotatorias de níquel-titanio Protaper Universal® y Profile Vortex®.

5.1 Discusión de Metodología:

5.1.1 Selección de la muestra

Realizamos nuestros estudios en dientes naturales humanos extraídos. Los estudios sobre deformación pueden ser realizados en dientes naturales o en conductos simulados en cubiletes de resina.

En modelos de conductos radiculares en resina, el diámetro, la longitud y el ángulo de curvatura están estandarizados. Sin embargo descartamos la realización de los estudios en modelos de resina ya que estos no representan las condiciones clínicas reales, siendo la textura y la micro-dureza diferentes a la dentina (102). Además el calor generado por la fricción de la lima puede reblandecer la resina produciendo falsas deformaciones.

Utilizamos raíces mesio-vestibulares de molares maxilares y mandibulares extraídos en nuestros estudios, porque estas raíces normalmente presentan una curvatura acentuada y un estrechamiento mesio-distal del conducto (23).

Realizamos la estandarización de la muestra homogeneizando la longitud de los conductos radiculares (18, 22, 28, 103, 104). Además se seleccionaron los conductos mediante la limitación del ángulo y radio de curvatura: El ángulo y radio de curvatura fue determinado mediante dos radio-visiografías periapicales en proyección ortoradial y mesio-radial de cada muestra, de acuerdo al método de Pruett (1997) (25).

5.1.2 Registro de Imágenes

La valoración de la deformación en estos tres estudios la realizamos mediante la toma de fotografías con estereo-microscopio acoplado a una cámara digital. Estudios previos han utilizado métodos como la toma de radiografías o el microscopio óptico, sin embargo no son aconsejables.

El método radiográfico no da información sobre las superficies vestibular y lingual del foramen apical. La observación mediante microscopio óptico tampoco es aceptable ya que influyen variables como la calibración del observador o la calidad del objetivo (105). Otros métodos de observación como el microscopio electrónico (106) o el micro CT-Scan han sido usados en un esfuerzo por controlar las variables y aumentar la precisión en las medidas. Sin embargo, estos métodos son difíciles de realizar en estudios con elevado número de muestras. Actualmente encontramos en la literatura una gran cantidad de estudios realizados mediante el análisis de imágenes obtenidas con la Tomografía Computerizada de Haz Cónico. El uso de TCHC esta contraindicado en estos estudios debido a que el tamaño del voxel es mayor a la deformación producida por los instrumentos, por lo que es muy difícil establecer si hay o no deformación.

En nuestros estudios, utilizamos un estéreo-microscopio acoplado a una cámara digital con un software integrado de obtención y calibración de imágenes. Este sistema permite la obtención y medición precisas de un elevado número de muestras (105).

5.1.3 Transporte y Capacidad de Centrado

En los estudios **“Lima de permeabilidad: capacidad de centrado y deformación. Estudio in vitro”** y **“Centring ability and apical transportation after overinstrumentation with ProTaper Universal and ProFile Vortex instruments”** se analizaron el transporte y la capacidad de centrado.

Transporte: El transporte fue medido de acuerdo al método descrito por Bergmans (2003) (107) y Yang (2007) (103). El transporte fue calculado en dos direcciones; eje de máxima curvatura y eje vertical a máxima curvatura. El punto de origen para establecer la cantidad de deformación que se produce en cada eje, se estableció en el Centro de Gravedad (CG). El CG es la localización media de todas las masas en un

sistema cerrado, siendo en nuestro caso el sistema cerrado el contorno del foramen mayor.

Capacidad de centrado: La capacidad de centrado de un instrumento fue calculada mediante el ratio T'/T'' o T''/T' , de acuerdo al método descrito por Gambill (1996) (108) y Yang (2007). Si estos números no eran iguales, el menor valor era considerado como numerador de la fracción. La capacidad de centrado fue calculada en dos direcciones: eje de máxima curvatura y eje vertical a máxima curvatura. Si quedaba una pared del foramen sin instrumentar, en esa dirección la capacidad de centrado era considerada como "0". Por lo tanto un resultado de "1" en la fracción indica una perfecta capacidad de centrado y un resultado de "0", indica la peor capacidad de centrado.

5.1.4 Validación y tolerancia de las imágenes

Todas las mediciones fueron realizadas con el programa informático Autocad (Autodesk Incorporated). Se realizó un cálculo de la resolución previo de cada imagen para nuestro sistema de medición, basado en la magnificación y el número de pixeles por imagen.

El tamaño del pixel en nuestras imágenes fue de $0.85 \mu\text{m}$ (asumimos un error de $0,85 \mu\text{m}$). Hallamos la tolerancia de nuestras imágenes, para hallar la tolerancia conocíamos el ancho y el largo de las imágenes, y obtuvimos una "L media aritmética".

La formula de la tolerancia viene expresada por:

$$T = 2 \times e \times \sqrt{2L/l}$$

Condición de la tolerancia en imágenes:

Si $T > e$, es válido. Es correcto.

Si $T < e$, no es válido. No son correctas las mediciones, supera al error permisible y deja de ser fiable la imagen.

Obtuvimos los siguientes valores:

-Tolerancia en el ancho (Eje X)= $2,78 \mu\text{m} > 0,85 \mu\text{m}$ (La tolerancia en el eje X de la imagen (ancho) es válida)

-Tolerancia en la altura de la imagen (eje Y)= $2,59 \mu\text{m} > 0,85 \mu\text{m}$ (La tolerancia en el eje Y de la imagen (altura) es válida)

Debemos de tener en cuenta que la tolerancia siempre debe de ser mayor que el error. En nuestro estudio tenemos una tolerancia de $\approx 2,65 \mu\text{m}$ y un error de $0,85 \mu\text{m}$, por lo cual es estudio esta dentro de los valores de tolerancia permitidos.

5.2 Permeabilidad Apical y deformación

Los artículos: “**Apical transportation created using three different patency instruments**” y “**Lima de permeabilidad: capacidad de centrado y deformación. Estudio in vitro**”, estudian dichos cambios después de realizar la permeabilidad con distintos instrumentos.

En el primer artículo el objetivo fue realizar una evaluación de la lima K#08, el ensanchador #10 y el espaciador XF, al ser utilizados como instrumentos de permeabilidad.

El uso de la lima de permeabilidad ha sido descrito con el objetivo de limpiar el foramen apical y mantenerlo libre de detritus, sin ensancharlo. Las razones para mantener permeable el foramen en dientes con pulpas vitales son exclusivamente mecánicas (objetivo mecánico) (79), p.ej., para prevenir el bloqueo por detritus dentinarios que puedan conllevar a una pérdida de la longitud de trabajo y la

consecuente producción de escalones, lo que desencadenaría en una serie de errores durante los procesos de conformación químico-mecánicos. Sin embargo en dientes con pulpas necróticas o con infecciones secundarias toma especial relevancia el mantenimiento de la permeabilidad apical, ya que uno de los requisitos para que los microorganismos participen en la patogénesis de los defectos periradiculares es que los factores de virulencia tengan acceso a los tejidos periapicales (46).

Se ha demostrado que los microorganismos existentes en la parte final del conducto han sido encontrados en las infecciones periapicales (109) y suelen ser predominantemente anaerobios. Siqueira y cols. (110) establecieron que las cinco especies bacterianas más frecuentes en la porción apical del conducto eran: *P. alactolyticus*, *T. denticola*, *F. nucleatum*, *P. nndodontalis* y *F. alocis*. La región apical del conducto debe de ser considerada como un “territorio crítico”, por la patogenia bacteriana, y por tanto es esencial la limpieza mecánica y la llegada de irrigantes hasta esta zona (objetivo biológico) (52).

El uso de la lima de permeabilidad es controvertido, debido a sus consecuencias biológicas, como pueden ser la sobre-instrumentación del foramen mayor (Goldberg & Massone) y el daño a los tejidos periapicales (Ricucci 2003).

Sin embargo, otros autores como Tsesis (2008) señaló que la permeabilidad permitía un mantenimiento de la longitud de trabajo. Vera y cols. (2011)(75) demostraron recientemente que el uso de la lima de permeabilidad junto con la irrigación ultrasónica pasiva permite eficazmente la llegada de los irrigantes al tercio final de los conductos radiculares en humanos. Otro estudios (74,111), han verificado que es frecuente la presencia de burbujas de aire en los tercios medio y apical de los conductos durante los procedimientos de conformación y limpieza (“vapor lock”), sin embargo el mantenimiento de la permeabilidad reduce significativamente la presencia de burbujas de aire en los conductos.

El concepto de permeabilidad apical esta basado en el paso de una lima de pequeño calibre a 1mm mas allá del término del conducto con el fin de remover los restos

dentenarios de la porción final y permitir la llegada de los irrigantes a éstas áreas (53). Este concepto es enseñado en el 50% de las escuelas de Estados Unidos.

En los estudios de esta investigación realizamos la permeabilidad de acuerdo a la técnica descrita por Buchanan (1989), es decir, sin pre-curvar el instrumento y haciéndolo pasar de forma pasiva 1mm a través del foramen mayor.

En el artículo **“Apical transportation created using three different patency instruments”** realizamos un protocolo similar al utilizado en 2002 por Goldberg y Massone para evaluar la relación entre la lima de permeabilidad y el transporte apical.

La superposición de fotografías permite establecer variaciones(112) entre la forma del foramen antes y después de la instrumentación. Si había variaciones en el perímetro de ambas fotografías se consideraba transporte apical. Este es un método cualitativo, y no cuantitativo, es decir observamos si hay o no transporte apical, pero no indicamos la cantidad de transporte que se ha producido. Para analizar si había o no transporte, se usaron dos observadores que fueron previamente calibrados, y que marcaban conjuntamente el perímetro. Si había desacuerdo entre ambos se utilizaba un tercero para realizar la decisión final.

Goldberg observó que si se utilizaba una lima de calibre 0.20mm para realizar la permeabilidad la posibilidad de realizar un transporte apical alcanzaba el 56,6%. En nuestro estudio utilizamos una lima de acero inoxidable de calibre 0.08mm, ya que Goldberg observó signos de transporte a partir de la lima 0.10mm. También utilizamos un ensanchador 0.10mm en lugar del tamaño 0.08mm debido a que éste instrumento posee una distancia entre espiras mayor y por tanto tiene menor masa que las limas K de acero inoxidable.

Utilizamos un espaciador de tamaño XF, ya que es el de menor tamaño disponible. El espaciador XF posee un diámetro en la punta de 0.16mm, una conicidad de 1,4% y la punta no activa. Las expectativas iniciales eran que causaría menos transporte que los otros dos instrumentos debido a la menor conicidad y la superficie lisa. Sin embargo

obtuvimos el mayor grado de deformación, seguramente debido a que éste instrumento por su geometría circular posee la mayor masa de los tres.

En nuestro estudio observamos transporte del foramen mayor en el 9% de las muestras permeabilizadas con la lima K de 0.08mm de diámetro, en el 12% de las muestras permeabilizadas con el ensanchador de 0.15mm de diámetro y el 44% de las muestras permeabilizadas con el espaciador XF.

Nuestros resultados difieren de los que obtuvieron Goldberg y Massone, los cuales observaron que se producía un transporte cuando se utilizaba una lima k#10 en el 33% de los casos, y concluyeron que se debería de utilizar una lima mas pequeña para realizar la permeabilidad. En el estudio de Goldberg realizaron la permeabilidad con limas precurvadas, lo cual puede hacer que la punta del instrumento se apoye en una de las paredes, produciendo una deformación en esa zona. En nuestro estudios realizamos la permeabilidad sin precurvar el instrumento, solo realizándola de forma pasiva, lo cual pudo producir una menor cantidad de transporte apical. Además utilizaron como muestra 30 incisivos laterales maxilares, los cuales presentan una curvatura apical del conducto en dirección disto-palatino (113), que puede favorecer el transporte. En nuestro estudio utilizamos 102 muestras, lo que posee una mayor potencia, y además utilizamos conductos mesio-vestibulares de primeros molares superiores e inferiores(114).

Nuestro estudio coincide con los resultados de Green (115) que indican que en aproximadamente en un 50% de los dientes el foramen mayor no coincidía directamente con el ápice anatómico.

En nuestro estudio encontramos diferencias significativas entre el grupo de la lima K#08 y el grupo del espaciador XF; y entre el grupo del ensanchador #15 y el espaciador XF, por lo que desaconsejamos el uso del espaciador como instrumento de permeabilidad.

En el artículo “Lima de permeabilidad: capacidad de centrado y deformación. Estudio in vitro”, se evaluó de forma cuantitativa la deformación después de realizar la permeabilidad con las limas de acero inoxidable K#10 y C-Pilot #10.

Tradicionalmente han sido utilizadas limas de acero inoxidable y de pequeño calibre para realizar la primera exploración del conducto. Sin embargo, los instrumentos que se utilizan en la exploración de los conductos deben de tener suficiente resistencia al pandeo y facilitar el acceso al tercio apical de los conductos (116). El pandeo es un fenómeno de inestabilidad elástica que puede darse en elementos comprimidos esbeltos, y que se manifiesta por la aparición de desplazamientos importantes transversales a la dirección principal de compresión, es decir se produce una flexión de la lima por la compresión lateral, que evita el avance de la misma. Actualmente, varios fabricantes han realizado variaciones en sus limas modificando la geometría de la punta, usando combinaciones de carbono y acero, o aumentando la temperatura durante el proceso de manufacturación del acero inoxidable (117).

Las limas C-Pilot (VDW) son instrumentos de acero inoxidable diseñados para la exploración del conducto que según estudios previos presentan menor susceptibilidad al pandeo (118), poseen un diámetro apical D_0 de 0.10mm y una conicidad de 0.02mm durante todo el instrumento y presentan una mayor resistencia a la flexión que los instrumentos convencionales debido a un proceso de endurecimiento termal durante el proceso de fabricación.

Gracias a su resistencia al pandeo deberían de conseguir la permeabilidad más fácilmente que sus homólogos de acero inoxidable.

En éste estudio realizamos, con ayuda del programa informático Autocad®, un análisis cuantitativo de la cantidad de deformación y la capacidad de centrado de ambos instrumentos, y obtuvimos que los instrumentos C-Pilot® no produjeron un mayor transporte del foramen apical ni tampoco conductos más descentrados, pese a tener una mayor rigidez que las limas de acero inoxidable convencional.

El promedio de deformación de la lima K#10 fue de $3,96 \pm 5,58 \mu\text{m}$ en el eje de máxima curvatura y de $3 \pm 2,92 \mu\text{m}$ en el eje vertical a máxima curvatura. En el grupo de la Lima C-Pilot obtuvimos una deformación de $7,30 \pm 4,68 \mu\text{m}$ en el eje de máxima curvatura y de $7,05 \pm 7,32 \mu\text{m}$ en el eje vertical a máxima curvatura.

Aunque no encontramos diferencias significativas entre ambos grupos si que encontramos una mayor deformación en el grupo de la lima C-Pilot®, seguramente debido a la mayor rigidez que presentan éstas limas y que pueden producir un mayor transporte apical al ser utilizados como lima de permeabilidad.

Al comparar estadísticamente el perímetro inicial y después del uso de los instrumento en ambos casos, obtuvimos que las muestras en las que se habían utilizado los instrumentos tratados térmicamente durante su fabricación producían perímetros significativamente mayores que los del otro grupo. El grupo de las limas C-Pilot® obtuvimos una media de variación del perímetro de 0,054mm. En el grupo de las limas K obtuvimos una media de variación del perímetro de 0,017mm. Así podemos confirmar que el aumento del perímetro fue significativamente mayor en el grupo permeabilizado con las limas C-Pilot pero sin embargo la variación de diámetro en ambos casos no alcanzó un diámetro de 0,10mm.

La capacidad de ambos instrumentos para conservar centrado el conducto fue evaluada mediante el cociente de centrado. No obtuvimos diferencias significativas en ninguno de los ejes estudiados entre ambos grupos.

Goldberg evidenció en su estudio que se puede producir una deformación del foramen mayor después del uso de la lima K#10, pero no realizó un estudio cualitativo para saber la cantidad de deformación que se había producido. De acuerdo a nuestro estudio, la media de cantidad de deformación que encontramos después de la utilización de la lima K#10 de acero inoxidable es de $3,48 \pm 4,25 \mu\text{m}$., lo cual podríamos considerar como despreciable a nivel clínico.

5.3 Sobre-Instrumentación y deformación

Uno de los temas mas controvertidos en endodoncia es el punto o longitud en la que debemos de terminar nuestra preparación mecánica del conducto. Esta es una importante discusión, ya que la respuesta de los tejidos periapicales a los

tratamientos intra-conducto va a venir influenciada por la longitud de trabajo. Se debe de tener en cuenta los posibles errores que se pueden producir a la hora de tomar la longitud de trabajo. El foramen apical está normalmente situado a una distancia de 0-3mm del ápice anatómico (119). Si se utiliza el ápice radiográfico para determinar la longitud de trabajo, podrían producirse una sobre-instrumentación y transporte del foramen mayor en la mayoría de los casos. Es muy recomendable realizar la determinación de la longitud de trabajo mediante la combinación de radiografía y localizadores de ápices (120). Además, diversos autores (87, 121) han demostrado que la precisión de los localizadores no es exacta y por tanto es posible que debido a una mala lectura del localizador de ápices realicemos una sobre-instrumentación.

Para comprobar los cambios que se producen a nivel del forámen mayor en conductos sobre-instrumentados realizamos el estudio reflejado en el artículo: **“Centring ability and apical transportation after overinstrumentation with ProTaper Universal and ProFile Vortex instruments”**.

Los instrumentos utilizados para realizar la sobre-instrumentación en el estudio fueron las limas rotatorias de Níquel-Titanio de los sistemas Protaper Universal® y Profile Vortex®.

Las limas rotatorias ProTaper® (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) tienen una sección triangular convexa con tres superficies cortantes, ángulo negativo de corte, punta inactiva y un diseño de espiras que combina conicidad progresivas (18). En 2007 se introdujo un nuevo diseño, renombrado como Protaper Universal®, que tiene las puntas de las espiras finales más redondeada (“rounded safe tip”) que las originales Protaper (20). Además, las superficies laterales convexas de las limas F3-F5 han sido rediseñadas para aumentar su flexibilidad (22).

Las limas rotatorias Profile Vortex® (Dentsply, Tulsa Dental Specialities, Tulsa, OK, USA) fueron introducidas en 2009. Están fabricadas con una aleación modificada de níquel-titanio denominada M-Wire. M-Wire, fue introducido en 2008 y está producido por la aplicación de una serie de tratamientos térmicos durante la fabricación del

Níquel-Titanio. Estudios preliminares han sugerido que el uso de la aleación M-Wire disminuye la fatiga cíclica de los instrumentos. Las limas Profile Vortex® de calibre 25 y conicidad 0.04 fabricadas con M-Wire demostraron una resistencia del 400% mayor a la fatiga cíclica que las Profile® de calibre 25 y conicidad 0.04 realizadas con Níquel Titanio convencional. El sistema se presenta en conicidades de 0.04 y 0.06 y tamaños que van del 15 al 50. Las Profile Vortex® tienen una sección triangular, ángulo helicoidal específico, no presentan superficies de apoyo radial (*radial lands*) y tienen la punta inactiva (122).

En nuestro estudio obtuvimos diferencias significativas entre el transporte creado por la lima F3 y todas las demás. Las limas que produjeron un mayor transporte del foramen mayor en ambas direcciones fueron las limas Protaper F3, Profile Vortex 30.06 y Protaper F2.

En el análisis de la capacidad de centrado no encontramos diferencias significativas entre los diferentes instrumentos. Todas las limas se mantuvieron más centradas en el conducto en el eje vertical a máxima curvatura que en el eje de máxima curvatura.

En el presente estudio encontramos que todas las limas rotatorias Protaper Universal® presentan una tendencia a crear transporte apical del foramen mayor. Estos hallazgos concuerdan con los estudios de Yang et al., Kunert et al. (123) y Javaheri & Javaheri (124). No obstante los resultados del presente estudio no pueden ser comparados con los estudios anteriores, debido al área del conducto estudiados en cada uno. Los estudios previos examinaron la deformación en toda la longitud del conducto radicular, sin embargo nuestro estudio se focalizó solo en la zona del foramen mayor.

Kuttler y Green (115, 125) reportaron a mediados del siglo XX que el foramen apical tiene un diámetro natural de 0.50-0.65mm (correspondiente a una lima #50 y #65 respectivamente). Sin embargo los forámenes analizados en nuestro estudio coinciden con el estudio de Briseño (2004), quién determinó que la media de tamaño del foramen mayor en la raíz mesio-vestibular de primeros molares superiores es de 0.19-0.24mm y de 0.19-0.25mm en molares mandibulares. Además, de acuerdo con

Goldberg (2002), debemos de tomar en consideración que normalmente el foramen emerge lateralmente al ápice. Esto explicaría por qué a partir de la lima más pequeña que atravesó el foramen, Profile Vortex® 15.06, encontramos deformación en el mismo.

De acuerdo con Mc Spadden (2007) (126), se produce un menor transporte del conducto cuando se utilizan limas con alta flexibilidad, una sección asimétrica y un diseño con apoyos radiales. En nuestro estudio utilizamos limas de alta flexibilidad, gracias al uso en su fabricación de Níquel-Titanio, pero con secciones simétricas y ninguno de los dos sistemas presenta superficies de apoyo.

El transporte del foramen mayor después de la utilización de ambos sistemas fue evidente. Esto es debido al tamaño apical de los instrumentos, la presencia de conicidad y las superficies cortantes en las espiras. La presencia de superficies de apoyo radial es especialmente efectiva en el mantenimiento del borde del ángulo de corte y reduce el transporte ya que estas superficies distribuyen la presión de las espiras mas uniformemente en el conducto. El tamaño de la conicidad es otro de los factores determinantes en el transporte apical, ya que el aumento de la conicidad disminuye la flexibilidad del instrumento (Scähfer et al. 2003 (127), McSpadden 2007). Esto explica por qué la lima Protaper® F3 produjo una mayor cantidad de deformación (88,95 / 26,70 μm) que la lima Profile Vortex® 30 (73,67 / 14,94 μm), ya que aunque los dos instrumentos tienen un diámetro apical en D_0 de 0,30mm, la lima F3 tiene una conicidad de 0.08, mientras que la lima Profile Vortex 30 tiene una conicidad de 0.06.

Schäfer concluyó en sus investigaciones sobre conicidad y flexibilidad, que las limas de conicidad mayor a 0.04 no deberían usarse para el ensanchamiento apical de conductos curvos.

En nuestro estudio analizamos la forma que adquiere el foramen mayor después de la sobre-instrumentación con las diferentes limas rotatorias, ya que ésta puede influir en la adaptación del material de obturación en la porción apical. La sobre-instrumentación con las limas Protaper Universal® F1y F2, que corresponden a las

limas finales de preparación del sistema, produjeron forámenes ovales en el 85% de los casos, mientras que la lima F3 produjo forámenes ovales en el 71% de los casos. La lima F3 produjo menos forámenes ovales, seguramente debido al considerable aumento de masa respecto a la F1 y F2, además fue la lima del sistema Protaper Universal® que consiguió una mayor capacidad de centrado en el eje de máxima deformación. Las limas Profile Vortex® 20.06, 25.06 y 30.06 produjeron conductos ovalados en el 85%, 85% y 89% de los casos.

Carlsen(1997) (128) y Briseño (2004) encontraron que el 70% de los forámenes mayores presentan una forma ovalada. Podemos concluir que la forma fisiológica natural del foramen, en un alto porcentaje de casos, es ovalada y puede indicar la presencia de un conducto de forma ovalada. La sobre-instrumentación del conducto no va a producir forámenes mas redondeados, sino que incrementará la forma ovalada original de los mismos. Creemos que es necesaria la realización de estudios posteriores con lima que presenten en su diseño superficies de apoyo radial, ya que al mantener centrado el conducto, estas limas podrían reducir la forma ovalada, y por tanto el transporte apical.

La literatura sobre la evidencia de las consecuencias negativas de la sobre-instrumentación es deficiente. Estamos de acuerdo con otros autores (129) que han especulado que la sobre-instrumentación, con la posible excepción de las limas de tamaño #06-#10, que como hemos analizado producen una mínima deformación, debe de ser evitada por las siguientes razones:

(a) Trauma directo sobre los tejidos periapicales, (b) extrusión de tejido necrótico (incluyendo microorganismos vivos y muertos) hacia la zona periapical (129) que pueden producir reagudizaciones, bacteriemias o infecciones persistentes (como la actinomicosis periapical) que pueden comprometer el éxito a largo plazo del tratamiento, (c) la sobre-instrumentación puede estimular el sangrado dentro del conducto radicular, lo cual puede proveer de nutrientes a las bacterias intra-conducto, (d) el incremento del tamaño del foramen y el consiguiente aumento de tamaño de la puerta de entrada de nutrientes desde el área periapical para las bacterias (p.ej. exudado inflamatorio), (e) incrementa el riesgo de extrusión de

irrigantes, (f) favorece la extrusión de cemento sellador, gutapercha u otros materiales de obturación, ya que la instrumentación destruye el “stop apical” (47) y (h) como hemos comprobado favorece la creación de forámenes ovoides (transporte) lo cual puede reducir las posibilidades de un sellado apical correcto mediante un cono maestro redondo de gutapercha.

6. CONCLUSIONES

6. CONCLUSIONES

Generales:

1. No encontramos deformación in vitro a nivel apical en la mayoría de las muestras cuando utilizamos la lima K-flex de 0.08mm de calibre y el ensanchador de acero inoxidable de 0.10mm de calibre como instrumento para realizar la permeabilidad apical. El espaciador XF produjo el mayor transporte al ser utilizado como instrumento para realizar la permeabilidad.
2. En la mayoría de las muestras los instrumentos de níquel-titanio Protaper Universal® y Profile Vortex® produjeron transporte del foramen mayor en conductos en los que se sobre-estimó la longitud de trabajo.
3. No encontramos deformación significativa a nivel apical en la mayoría de las muestras analizadas después de realizar in vitro la permeabilidad apical con las limas de acero inoxidable k de 0.10mm de calibre y C-Pilot® de 0.10mm de calibre.

Específicas:

1. Después del análisis X^2 , encontramos diferencias significativas entre el grupo de la lima K-Flex#08 y el grupo del espaciador XF, después de realizar la permeabilidad, y entre el grupo de el ensanchador#10 y el grupo del espaciador XF. No encontramos diferencias significativas entre el uso de la lima K-Flex#08 y el ensanchador#10.

2. La lima K-Flex#08 no produjo deformación apical en más del 90% de las muestras analizadas.
3. Las limas K#10 de acero inoxidable y las limas C-Pilot®, fueron capaces de realizar la permeabilidad apical en todos los casos.
4. No encontramos diferencias estadísticamente significativas en la deformación y la capacidad de mantener el conducto centrado entre las limas k#10 de acero inoxidable y las limas C-Pilot al ser utilizadas como limas de permeabilidad
5. Encontramos diferencias significativas a nivel del foramen mayor entre el transporte producido por la lima Protaper Universal F3 en ambos ejes y las limas S1, S2 y F1 del sistema Protaper Universal® y las limas 15.06, 20.06 y 25.06 del sistema Profile Vortex® cuando son utilizadas mas allá de la constricción apical. La lima Profile Vortex® 30.06 obtuvo diferencias significativas en el transporte producido con las limas Protaper Universal ® S1 y Profile Vortex® 15.06 cuando son utilizadas mas allá de la constricción apical.
6. No encontramos diferencias significativas en la capacidad de centrado de las limas rotatorias de los sistemas Protaper Universal® y Profile Vortex® a nivel del foramen mayor cuando son utilizadas mas allá de la constricción apical.
7. Las limas Protaper Universal® F1, F2 y F3 crearon forámenes ovales en el 85%, 85% y 71% de los casos. Las limas Profile Vortex® 20.06, 25.06 y 30.06 crearon forámenes ovales en el 85%, 85% y 89% de los casos.

REFERENCIAS
BIBLIOGRÁFICAS

R

M

F

M

R

M

Z

C

I

A

S

1. Schilder, H., *Cleaning and shaping the root canal*. Dent Clin North Am, 1974. 18(2): p. 269-96.
2. Castellucci, A., *Endodontics*. 2004, Edizioni Odontoiatriche il Tridente: Florence. p. 396-437.
3. Goldberg, F. and E.J. Massone, *Patency file and apical transportation: an in vitro study*. J Endod, 2002. 28(7): p. 510-1.
4. Cohen, S., *Limpieza y remodelado del sistema de conductos radiculares.*, in *Vías de la Pulpa*. 2002, Mostby: Barcelona. p. 240.
5. Weine, F., *Tratamiento Endodóntico*, in *Tratamiento Endodóntico*. 1997, Harcourt Brace: Madrid. p. 122-25.
6. Ingle, J., *Endodoncia*. 1996, Mc Graw Hill Interamericana: México.
7. Walton, R., *Endodoncia: Principios y práctica*. 1997, Mc Graw-Hill Interamericana: México.
8. Soares, I., *Endodontic Técnica y Fundamentos*. 2002, Editorial Panamericana: Madrid. p. 122-125.
9. Figún, M., *Anatomía odontológica funcional y aplicada*. 1992, Ateneo: Buenos Aires.
10. Haapasalo, M., Endal, U., Zandi, H. and Coil, J. M., *Eradication of endodontic infection by instrumentation and irrigation solutions*. Endodontic Topics, 2005. 10(77-102).
11. Glossen, C.R., et al., *A comparison of root canal preparations using Ni-Ti hand, Ni-Ti engine-driven, and K-Flex endodontic instruments*. J Endod, 1995. 21(3): p. 146-51.
12. Schafer, E., M. Erler, and T. Dammaschke, *Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth*. Int Endod J, 2006. 39(3): p. 203-12.
13. Walia, H.M., W.A. Brantley, and H. Gerstein, *An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files*. J Endod, 1988. 14(7): p. 346-51.
14. Thompson, S.A. and P.M. Dummer, *Shaping ability of NT Engine and McXim rotary nickel-titanium instruments in simulated root canals. Part 2*. Int Endod J, 1997. 30(4): p. 270-8.

15. Schafer, E., *Shaping ability of Hero 642 rotary nickel-titanium instruments and stainless steel hand K-Flexofiles in simulated curved root canals*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2001. 92(2): p. 215-20.
16. Schafer, E. and D. Lohmann, *Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile--Part 2. Cleaning effectiveness and instrumentation results in severely curved root canals of extracted teeth*. Int Endod J, 2002. 35(6): p. 514-21.
17. Bergmans, L., et al., *Smooth flexible versus active tapered shaft design using NiTi rotary instruments*. Int Endod J, 2002. 35(10): p. 820-8.
18. Yang, G.B., et al., *Shaping ability of progressive versus constant taper instruments in simulated root canals*. Int Endod J, 2006. 39(10): p. 791-9.
19. Veltri, M., et al., *A comparative study of Endoflare-Hero Shaper and Mtwo NiTi instruments in the preparation of curved root canals*. Int Endod J, 2005. 38(9): p. 610-6.
20. Aguiar, C.M., et al., *Evaluation of the centreing ability of the ProTaper Universal rotary system in curved roots in comparison to Nitiflex files*. Aust Endod J, 2009. 35(3): p. 174-9.
21. Calberson, F.L., et al., *Shaping ability of ProTaper nickel-titanium files in simulated resin root canals*. Int Endod J, 2004. 37(9): p. 613-23.
22. Vaudt, J., et al., *Ex vivo study on root canal instrumentation of two rotary nickel-titanium systems in comparison to stainless steel hand instruments*. Int Endod J, 2009. 42(1): p. 22-33.
23. Tasdemir, T., et al., *Canal preparation with Hero 642 rotary Ni-Ti instruments compared with stainless steel hand K-file assessed using computed tomography*. Int Endod J, 2005. 38(6): p. 402-8.
24. Schneider, S.W., *A comparison of canal preparations in straight and curved root canals*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 1971. 32(2): p. 271-5.
25. Pruett, J.P., D.J. Clement, and D.L. Carnes, Jr., *Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments*. J Endod, 1997. 23(2): p. 77-85.
26. Versumer, J., M. Hulsmann, and F. Schafers, *A comparative study of root canal preparation using Profile .04 and Lightspeed rotary Ni-Ti instruments*. Int Endod J, 2002. 35(1): p. 37-46.

27. Ruddle, C., *Cleaning and shaping the root canal system*, in *Pathways of the pulp*. 2002, Mosby: St. Louis. p. 231-92.
28. Pasternak-Junior, B., M.D. Sousa-Neto, and R.G. Silva, *Canal transportation and centring ability of RaCe rotary instruments*. *Int Endod J*, 2009. 42(6): p. 499-506.
29. Young, G.R., P. Parashos, and H.H. Messer, *The principles of techniques for cleaning root canals*. *Aust Dent J*, 2007. 52(1 Suppl): p. S52-63.
30. Falk, K.W. and C.M. Sedgley, *The influence of preparation size on the mechanical efficacy of root canal irrigation in vitro*. *J Endod*, 2005. 31(10): p. 742-5.
31. Shuping, G.B., et al., *Reduction of intracanal bacteria using nickel-titanium rotary instrumentation and various medications*. *J Endod*, 2000. 26(12): p. 751-5.
32. Roig Cayon, M., J. Basilio Monne, and C. Canalda Sahli, *[Deformations occurring in the apical third of curved root canals during biomechanical preparation using manual impulsion-traction techniques]*. *Endodoncia*, 1990. 8(4): p. 153-8.
33. Weine, F.S., et al., *Pre-curved files and incremental instrumentation for root canal enlargement*. *J Can Dent Assoc (Tor)*, 1970. 36(4): p. 155-7.
34. Powell, S.E., J.H. Simon, and B.B. Maze, *A comparison of the effect of modified and nonmodified instrument tips on apical canal configuration*. *J Endod*, 1986. 12(7): p. 293-300.
35. Dummer, P.M., M.A. al-Omari, and S. Bryant, *Comparison of the performance of four files with rounded tips during shaping of simulated root canals*. *J Endod*, 1998. 24(5): p. 364-71.
36. Ricucci, D., *Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 1. Literature review*. *Int Endod J*, 1998. 31(6): p. 384-93.
37. Tronstad, L., *Tissue reactions following apical plugging of the root canal with dentin chips in monkey teeth subjected to pulpectomy*. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1978. 45(2): p. 297-304.
38. Nyborg H, T.B., *Healing process after vital extirpation. An experimental study of 17 teeth*. *Odontol Tidskr* 1965. 73: p. 430-446.
39. Leonardo, M.R., et al., *Histological evaluation of the response of apical tissues to glass ionomer and zinc oxide-eugenol based sealers in dog teeth after root canal treatment*. *Endod Dent Traumatol*, 1998. 14(6): p. 257-61.

40. Friedman, S., *Treatment outcome and prognosis of endodontic therapy*, in *Essential Endodontology*. 1998, Blackwell Science: Oxford. p. 367-401.
41. Engstrom, B. and L. Spangberg, *Wound healing after partial pulpectomy. A histologic study performed on contralateral tooth pairs*. *Odontol Tidskr*, 1967. 75(1): p. 5-18.
42. Sinai, I., et al., *Biologic aspects of endodontics. II. Periapical tissue reactions to pulp extirpation*. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1967. 23(5): p. 664-79.
43. Holland, R., et al., *Root canal treatment with calcium hydroxide. II. Effect of instrumentation beyond the apices*. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1979. 47(1): p. 93-6.
44. Holland, R., et al., *Root canal treatment with calcium hydroxide. I. Effect of overfilling and refilling*. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1979. 47(1): p. 87-92.
45. Holland, R., et al., *Root canal treatment with calcium hydroxide. III. Effect of debris and pressure filling*. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1979. 47(2): p. 185-8.
46. Siqueira, J.F., Jr., *Endodontic infections: concepts, paradigms, and perspectives*. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2002. 94(3): p. 281-93.
47. Siqueira, J.F., Jr. and H.P. Lopes, *Bacteria on the apical root surfaces of untreated teeth with periradicular lesions: a scanning electron microscopy study*. *Int Endod J*, 2001. 34(3): p. 216-20.
48. Vieira, A.R., et al., *Dentinal tubule infection as the cause of recurrent disease and late endodontic treatment failure: a case report*. *J Endod*. 38(2): p. 250-4.
49. Molven, O., *The apical level of root fillings*. *Acta Odontol Scand*, 1976. 34(2): p. 89-105.
50. Fabricius, L., et al., *Predominant indigenous oral bacteria isolated from infected root canals after varied times of closure*. *Scand J Dent Res*, 1982. 90(2): p. 134-44.
51. Yusuf, H., *The significance of the presence of foreign material periapically as a cause of failure of root treatment*. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1982. 54(5): p. 566-74.
52. Buchanan, L.S., *Cleaning and shaping the root canal system: negotiating canals to the termini*. *Dent Today*, 1994. 13(4): p. 76, 78-81.

53. Buchanan, L.S., *The art of endodontics: cleaning and shaping the root canal system. The apical preparation. Part IV of a four-part series on cleaning and shaping root canals.* Dent Today, 1994. 13(1): p. 50, 52.
54. Cailleateau, J.G. and T.P. Mullaney, *Prevalence of teaching apical patency and various instrumentation and obturation techniques in United States dental schools.* J Endod, 1997. 23(6): p. 394-6.
55. Wu, M.K., P.R. Wesselink, and R.E. Walton, *Apical terminus location of root canal treatment procedures.* Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2000. 89(1): p. 99-103.
56. Tinaz, A.C., et al., *The effect of disruption of apical constriction on periapical extrusion.* J Endod, 2005. 31(7): p. 533-5.
57. Parris, J., L. Wilcox, and R. Walton, *Effectiveness of apical clearing: histological and radiographical evaluation.* J Endod, 1994. 20(5): p. 219-24.
58. Schilder, H.Y., F.S., *Canal debridement and disinfection,* in Cohen S., Burns R.C.: *Pathways of the pulp.* 1984, Mosby Company: St. Louis. p. 175.
59. Ng, Y.L., V. Mann, and K. Gulabivala, *A prospective study of the factors affecting outcomes of nonsurgical root canal treatment: part 1: periapical health.* Int Endod J. 44(7): p. 583-609.
60. Duran-Sindreu, F., et al., *Comparison of in vivo and in vitro readings when testing the accuracy of the Root ZX apex locator.* J Endod. 38(2): p. 236-9.
61. Stober, E.K., et al., *Evaluation of the Raypex 5 and the Mini Apex Locator: an in vivo study.* J Endod. 37(10): p. 1349-52.
62. Plotino, G., et al., *Ex vivo accuracy of three electronic apex locators: Root ZX, Elements Diagnostic Unit and Apex Locator and ProPex.* Int Endod J, 2006. 39(5): p. 408-14.
63. Arias, A., et al., *Relationship between postendodontic pain, tooth diagnostic factors, and apical patency.* J Endod, 2009. 35(2): p. 189-92.
64. Holland, R., et al., *Calcium hydroxide and a corticosteroid-antibiotic association as dressings in cases of biopulpectomy. A comparative study in dogs' teeth.* Braz Dent J, 1998. 9(2): p. 67-76.
65. Holland, R. and V. de Souza, *Ability of a new calcium hydroxide root canal filling material to induce hard tissue formation.* J Endod, 1985. 11(12): p. 535-43.

66. Lambrianidis, T., E. Tosounidou, and M. Tzoanopoulou, *The effect of maintaining apical patency on periapical extrusion*. J Endod, 2001. 27(11): p. 696-8.
67. Izu, K.H., et al., *Effectiveness of sodium hypochlorite in preventing inoculation of periapical tissues with contaminated patency files*. J Endod, 2004. 30(2): p. 92-4.
68. Peters, O.A., *Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review*. J Endod, 2004. 30(8): p. 559-67.
69. Nair, P.N., et al., *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(2): p. 231-52.
70. Teixeira, F.B., et al., *A preliminary in vitro study of the incidence and position of the root canal isthmus in maxillary and mandibular first molars*. Int Endod J, 2003. 36(4): p. 276-80.
71. Ricucci, D. and J.F. Siqueira, Jr., *Fate of the tissue in lateral canals and apical ramifications in response to pathologic conditions and treatment procedures*. J Endod. 36(1): p. 1-15.
72. Buchanan, L.S., *Management of the curved root canal*. J Calif Dent Assoc, 1989. 17(4): p. 18-25, 27.
73. Gulabivala, K., et al., *Effects of mechanical and chemical procedures on root canal surfaces*. Endod Topics, 2006. 10: p. 103-22.
74. Tay, F.R., et al., *Effect of vapor lock on root canal debridement by using a side-vented needle for positive-pressure irrigant delivery*. J Endod. 36(4): p. 745-50.
75. Vera, J., A. Arias, and M. Romero, *Effect of maintaining apical patency on irrigant penetration into the apical third of root canals when using passive ultrasonic irrigation: an in vivo study*. J Endod. 37(9): p. 1276-8.
76. LS, B., *Cleaning and shaping of the root canal system*, in *Pathways of the pulp*, Mosby, Editor. 1991: St. Louis.
77. Fairbourn, D.R., G.M. McWalter, and S. Montgomery, *The effect of four preparation techniques on the amount of apically extruded debris*. J Endod, 1987. 13(3): p. 102-8.

78. Holland, R., et al., *Influence of apical patency and filling material on healing process of dogs' teeth with vital pulp after root canal therapy*. Braz Dent J, 2005. 16(1): p. 9-16.
79. Tsesis, I., et al., *The effect of maintaining apical patency on canal transportation*. Int Endod J, 2008. 41(5): p. 431-5.
80. Canalda, C. and E. Brau, *Endodoncia: Técnicas clínicas y bases científicas*.- 2001, Milan: Masson.
81. Souza, R.A., *The importance of apical patency and cleaning of the apical foramen on root canal preparation*. Braz Dent J, 2006. 17(1): p. 6-9.
82. Abad, S.b., H.G. Miranda, and J.H. Ananos, *Manejo farmacológico coadyuvante al tratamiento endodóntico*. Rev Estomatol Herediana, 2011. 21(2): p. 110-115.
83. Schafer, E., M. Erler, and T. Dammaschke, *Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 1. Shaping ability in simulated curved canals*. Int Endod J, 2006. 39(3): p. 196-202.
84. Kuttler, Y., *Microscopic investigation of root apexes*. J Am Dent Assoc, 1955. 50(5): p. 544-52.
85. Pineda, F. and Y. Kuttler, *Mesiodistal and buccolingual roentgenographic investigation of 7,275 root canals*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 1972. 33(1): p. 101-10.
86. McDonald, N.J., *The electronic determination of working length*. Dent Clin North Am, 1992. 36(2): p. 293-307.
87. Stober, E.K., et al., *An evaluation of root ZX and iPex apex locators: an in vivo study*. J Endod. 37(5): p. 608-10.
88. Krajczar, K., et al., *Comparison of radiographic and electronical working length determination on palatal and mesio-buccal root canals of extracted upper molars*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2008. 106(2): p. e90-3.
89. ElAyouti, A., et al., *Consistency of apex locator function: a clinical study*. J Endod, 2009. 35(2): p. 179-81.
90. ElAyouti, A., R. Weiger, and C. Lost, *The ability of root ZX apex locator to reduce the frequency of overestimated radiographic working length*. J Endod, 2002. 28(2): p. 116-9.

91. Shabahang, S., W.W. Goon, and A.H. Gluskin, *An in vivo evaluation of Root ZX electronic apex locator*. J Endod, 1996. 22(11): p. 616-8.
92. Mayeda, D.L., et al., *In vivo measurement accuracy in vital and necrotic canals with the Endex apex locator*. J Endod, 1993. 19(11): p. 545-8.
93. Ounsi, H.F. and A. Naaman, *In vitro evaluation of the reliability of the Root ZX electronic apex locator*. Int Endod J, 1999. 32(2): p. 120-3.
94. Lee, S.J., et al., *Clinical accuracy of a new apex locator with an automatic compensation circuit*. J Endod, 2002. 28(10): p. 706-9.
95. Herrera, M., et al., *Influence of apical constriction diameter on Root ZX apex locator precision*. J Endod, 2007. 33(8): p. 995-8.
96. Pratten, D.H. and N.J. McDonald, *Comparison of radiographic and electronic working lengths*. J Endod, 1996. 22(4): p. 173-6.
97. Dunlap, C.A., et al., *An in vivo evaluation of an electronic apex locator that uses the ratio method in vital and necrotic canals*. J Endod, 1998. 24(1): p. 48-50.
98. Guise, G.M., G.G. Goodell, and G.M. Imamura, *In vitro comparison of three electronic apex locators*. J Endod. 36(2): p. 279-81.
99. Sjogren, U., et al., *Factors affecting the long-term results of endodontic treatment*. J Endod, 1990. 16(10): p. 498-504.
100. Wu, M.K. and P.R. Wesselink, *[Local and potential systemic consequences of endodontic root infection]*. Ned Tijdschr Tandheelkd, 2005. 112(11): p. 416-9.
101. Gutierrez, J.H., C. Brizuela, and E. Villota, *Human teeth with periapical pathosis after overinstrumentation and overfilling of the root canals: a scanning electron microscopic study*. Int Endod J, 1999. 32(1): p. 40-8.
102. Bertrand, M.F., et al., *Curved molar root canal preparations using Hero 642 rotary nickel-titanium instruments*. Int Endod J, 2001. 34(8): p. 631-6.
103. Yang, G.B., et al., *Shaping ability of progressive versus constant taper instruments in curved root canals of extracted teeth*. Int Endod J, 2007. 40(9): p. 707-14.
104. Rodig, T., M. Hulsmann, and C. Kahlmeier, *Comparison of root canal preparation with two rotary NiTi instruments: ProFile .04 and GT Rotary*. Int Endod J, 2007. 40(7): p. 553-62.

105. Marroquin, B.B., M.A. El-Sayed, and B. Willershausen-Zonnchen, *Morphology of the physiological foramen: I. Maxillary and mandibular molars*. J Endod, 2004. 30(5): p. 321-8.
106. Morfis, A., et al., *Study of the apices of human permanent teeth with the use of a scanning electron microscope*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 1994. 77(2): p. 172-6.
107. Bergmans, L., et al., *Progressive versus constant tapered shaft design using NiTi rotary instruments*. Int Endod J, 2003. 36(4): p. 288-95.
108. Gambill, J.M., M. Alder, and C.E. del Rio, *Comparison of nickel-titanium and stainless steel hand-file instrumentation using computed tomography*. J Endod, 1996. 22(7): p. 369-75.
109. De Deus, Q.D., *Frequency, location, and direction of the lateral, secondary, and accessory canals*. J Endod, 1975. 1(11): p. 361-6.
110. Siqueira, J.F., Jr., et al., *Selected endodontic pathogens in the apical third of infected root canals: a molecular investigation*. J Endod, 2004. 30(9): p. 638-43.
111. Vera, J., A. Arias, and M. Romero, *Dynamic movement of intracanal gas bubbles during cleaning and shaping procedures: the effect of maintaining apical patency on their presence in the middle and cervical thirds of human root canals-an in vivo study*. J Endod. 38(2): p. 200-3.
112. Lopez, F.U., et al., *Apical transportation: a comparative evaluation of three root canal instrumentation techniques with three different apical diameters*. J Endod, 2008. 34(12): p. 1545-8.
113. Mizutani, T., *[Anatomical study on the root apex in the maxillary anterior teeth]*. Aichi Gakuin Daigaku Shigakkai Shi, 1989. 27(1): p. 169-84.
114. Kartal, N. and H.K. Cimilli, *The degrees and configurations of mesial canal curvatures of mandibular first molars*. J Endod, 1997. 23(6): p. 358-62.
115. Green, E.N., *Microscopic investigation of root canal diameters*. J Am Dent Assoc, 1958. 57(5): p. 636-44.
116. Jafarzadeh, H. and P.V. Abbott, *Ledge formation: review of a great challenge in endodontics*. J Endod, 2007. 33(10): p. 1155-62.
117. Allen, M.J., G.N. Glickman, and J.A. Griggs, *Comparative analysis of endodontic pathfinders*. J Endod, 2007. 33(6): p. 723-6.

118. Lopes, H.P., et al., *Buckling resistance of pathfinding endodontic instruments*. J Endod. 38(3): p. 402-4.
119. Burch, J.G. and S. Hulen, *The relationship of the apical foramen to the anatomic apex of the tooth root*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 1972. 34(2): p. 262-8.
120. *Quality guidelines for endodontic treatment: consensus report of the European Society of Endodontology*. Int Endod J, 2006. 39(12): p. 921-30.
121. Wrbas, K.T., et al., *In vivo comparison of working length determination with two electronic apex locators*. Int Endod J, 2007. 40(2): p. 133-8.
122. Gao, Y., et al., *Effects of raw material and rotational speed on the cyclic fatigue of ProFile Vortex rotary instruments*. J Endod. 36(7): p. 1205-9.
123. Kunert, G.G., et al., *Analysis of apical root transportation associated with ProTaper Universal F3 and F4 instruments by using digital subtraction radiography*. J Endod. 36(6): p. 1052-5.
124. Javaheri, H.H. and G.H. Javaheri, *A comparison of three Ni-Ti rotary instruments in apical transportation*. J Endod, 2007. 33(3): p. 284-6.
125. Kuttler, Y., *Microscopic investigation of root apexes*. 1955. J Indiana Dent Assoc. 89(1): p. 20-8.
126. McSpadden, J., *Mastering Endodontic Instrumentation*. 2007, Chattanooga: Cloudland Institute.
127. Schafer, E., A. Dzepina, and G. Danesh, *Bending properties of rotary nickel-titanium instruments*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2003. 96(6): p. 757-63.
128. Carlsen, O. and V. Alexandersen, *Root canals in two-rooted maxillary second molars*. Acta Odontol Scand, 1997. 55(6): p. 330-8.
129. Siqueira, J.F., *Reaction of periradicular tissues to root canal treatment: benefits and drawbacks*. Endodontic Topics, 2005. 10: p. 123-147.



8. ANEXOS



ANEXO 1. APROBACIÓN PROYECTO DE TESIS



La Comisión Científica del Departamento de Odontología de la Universitat Internacional de Catalunya, CERTIFICA, que

El presente proyecto de Tesis Doctoral, titulado: "Estudio in vitro de la deformación apical producida por la permeabilización y con la utilización de sistemas de instrumentos rotatorios", cuyo investigador principal es Dr. F. Durán-Sindreu, y cuyo investigador/a secundario/a el/la doctorando/a José Antonio González Sánchez,

ha sido evaluado.

Para que así conste, lo firmo en Sant Cugat del Vallés,

A 10 de Marzo de 2010.

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'Lluís Giner Tarrida', is written over a light blue horizontal line.

Dr. Lluís Giner Tarrida
Director de la Comisión Científica



ANEXO 2. COMUNICACIÓN ACEPTACIÓN ARTÍCULOS INTERNATIONAL ENDODONTIC
JOURNAL

Decision Letter (IEJ-08-00318.R5)

From: iejeditor@cardiff.ac.uk

To: monmer9@hotmail.com

CC: joseags82@hotmail.com, fduranst@hotmail.com, miguelam28@hotmail.com, taucag@hotmail.com, monmer9@hotmail.com, montserratmercade@gmail.com, 23556mrc@comb.es

Subject: Manuscript ID IEJ-08-00318.R5 International Endodontic Journal

Body: 09-Feb-2010

Dear Dr. Mercadé

Manuscript ID: IEJ-08-00318.R5

Manuscript Title: Apical transportation created using three different patency instruments.

I am delighted to inform you that your manuscript is ready for publication in the International Endodontic Journal.

If you wish your paper to be OnlineOpen you are required to complete the combined payment and copyright licence form available from our website at: http://www.blackwellpublishing.com/pdf/IEJ_OOELF.pdf

If you do not wish your paper to be OnlineOpen, you are required to complete the standard Copyright Transfer Agreement form available from our website at: <http://media.wiley.com/assets/1540/86/ctaaglobal.pdf>

Papers cannot be published until ONE of the above two completed forms has been received.

OnlineOpen

OnlineOpen is a pay-to-publish service from Wiley-Blackwell that offers authors whose papers are accepted for publication the opportunity to pay up-front for their manuscript to become open access (i.e. free for all to view and download) via the Wiley InterScience (WIS)/Wiley Online Library (WOL) website. Each OnlineOpen article will be subject to a one-off fee of £1525 (equivalent to \$3000) to be met by or on behalf of the Author in advance of publication. Upon online publication, the article (both full-text and PDF versions) will be available to all for viewing and download free of charge.

Please print, complete the required details, sign and either scan and email as an attachment or return by post to:

Professor Paul Dummer
Manuscript ID: IEJ-08-00318.R5
Editor, International Endodontic Journal
Cardiff University School of Dentistry
Heath Park
Cardiff CF14 4XY
UK

Kind regards

Paul Dummer
Editor-in-Chief, International Endodontic Journal
iejeditor@cardiff.ac.uk

Date Sent: 09-Feb-2010

Decision Letter (IEJ-11-00435.R2)

From: iejeditor@cardiff.ac.uk

To: mmercade@csc.uic.es, monmer9@hotmail.com

CC: joseags82@hotmail.com, fduranst@hotmail.com, susana_de_noe@hotmail.com, mmercade@csc.uic.es, monmer9@hotmail.com, mroig@csc.uic.es

Subject: Manuscript ID IEJ-11-00435.R2 International Endodontic Journal

Body: @@date to be populated upon sending@@

Dear Dr. Mercadé

Manuscript ID: IEJ-11-00435.R2

Manuscript Title: Centring ability and apical transportation after over-instrumentation with ProTaper Universal and ProFile Vortex instruments

I am delighted to inform you that your manuscript is ready for publication in the International Endodontic Journal.

If you wish your paper to be OnlineOpen you are required to complete the combined payment and copyright licence form available from our website at:
http://www.blackwellpublishing.com/pdf/IEJ_OOELF.pdf

If you do not wish your paper to be OnlineOpen, you are required to complete the standard Copyright Transfer Agreement form available from our website at:
<http://media.wiley.com/assets/1540/86/ctaaglobal.pdf>

Papers cannot be published until ONE of the above forms has been completed and received.

OnlineOpen

OnlineOpen is a pay-to-publish service from Wiley-Blackwell that offers authors whose papers are accepted for publication the opportunity to pay up-front for their manuscript to become open access (i.e. free for all to view and download) via the Wiley Online Library (WIS)/Wiley Online Library (WOL) website. Each OnlineOpen article will be subject to a one-off fee of £1525 (equivalent to \$3000) to be met by or on behalf of the Author in advance of publication. Upon online publication, the article (both full-text and PDF versions) will be available to all for viewing and download free of charge.

Please print, complete the required details, sign and either scan and email as an attachment or return by post to:

Professor Paul Dummer
Manuscript ID: IEJ-11-00435.R2
Editor, International Endodontic Journal
Cardiff University School of Dentistry
Heath Park
Cardiff CF14 4XY
UK

Kind regards

Paul Dummer
Editor-in-Chief, International Endodontic Journal
iejeditor@cardiff.ac.uk

Date Sent: 12-Dec-2011

ANEXO 3. TABLAS DE MEDICIONES DEFORMACIÓN Y CAPACIDAD DE CENTRADO

Anexo de mediciones

En las siguientes páginas se adjuntan las mediciones de transporte y capacidad de centrado que se utilizaron para realizar la estadística de los artículos : **“Centring ability and apical transportation after overinstrumentation with ProTaper Universal® and ProFile Vortex® instruments”** y **“Lima de permeabilidad: capacidad de centrado y deformación. Estudio in vitro”**

Todas las tablas se han dividido de acuerdo al instrumento utilizado y conforme al transporte y la capacidad de centrado. Ambos parámetros se dividieron para su medición en los ejes Vestibular-Lingual/Palatino y Mesial-Distal.

Se incluyen también unas tablas comparativas en capacidad de centrado y cantidad de deformación conforme al tamaño apical del instrumento.

Mediciones Lima K#10:

TRANSPORTE PRODUCIDO POR LA LIMA k#10 (μm) ($T = T' - T''$)

Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D
1	-15,6596	-9,7569
2	-1,6178	3,8735
3	-0,4639	0,7066
4	-0,5322	0,148
5	-1,7021	-0,1525
6	-3,6802	3,0757
7	-2,2655	-2,5446
8	-0,4	-1,0607
9	-0,0219	7,6208
10	-2,5712	-2,1604
11	-9,383	-0,8317
12	-4,1938	-5,5444
13	-2,0535	-3,9399
14	-10,9021	-0,7058
SUMA	55,4468	42,1215
MEDIA ARITMÉTICA	3,9604	3,0086

CAPACIDAD DE CENTRADO DE LA LIMA K#10 (T'/T'' or T''/T')

Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D
1	0,5619	0,6278
2	0,1158	0,0005
3	0,0030	0,3182
4	0,0005	0,5227
5	0,2832	0,0551
6	0,3035	0,2625
7	0,8136	0,7253
8	0,1937	0,4686
9	0,7807	0,2253
10	0,5389	0,1312
11	0,5389	0,1312
12	0,4824	0,5275
13	0,00009	0,1848
14	0,7560	0,9653
SUMA	5,3721	5,1460
MEDIA ARITMÉTICA	0,3837	0,3675

Mediciones Lima C-Pilot#10:

TRANSPORTE PRODUCIDO POR LA LIMA C-Pilot#10 (μm) ($T = T' - T''$)

Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D
1	7,2046	0,2392
2	-1,6416	-3,2259
3	2,3113	-9,1868
4	10,2959	5,313
5	-22,5566	14,4052
6	-0,112	11,4398
7	-5,8264	-20,9145
8	0,0447	-7,1436
9	-3,8653	-4,0849
10	-2,1785	-2,3496
11	-9,3231	-5,2503
12	-8,2158	1,8398
13	-22,4627	-6,6124
14	-2,7568	-10,2203
SUMA	98,7953	102,2253
MEDIA ARITMÉTICA	7,0568	7,3018

CAPACIDAD DE CENTRADO DE LA LIMA C-Pilot#10 (T'/T'' or T''/T')

Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D
1	0,0389	0,4558
2	0,0863	0,0247
3	0,8189	0,1840
4	0,4491	0,7512
5	0,0019	0,0403
6	0,1344	0,1505
7	0,5788	0,2019
8	0,0447	0,0424
9	0,5972	0,0738
10	0,2818	0,0513
11	0,2300	0,0377
12	0,0119	0,8855
13	0,3802	0,6065
14	0,7526	0,1338
SUMA	4,4067	3,6394
MEDIA ARITMÉTICA	0,3147	0,2599

Mediciones Sistema Protaper Universal®:

TRANSPORTE PRODUCIDO POR LA LIMA S1 (μm) ($T = T' - T''$)

Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D
P2	-15,7408	-13,2497
P3	-13,5979	-2,9904
P4	-2,5193	-0,5886
P5	-29,1094	-9,728
P6	-30,8537	-0,0398
P7	-2,5559	-18,4706
P8	-2,9039	-5,4958
P9	-81,1541	-5,3198
P10	-34,0901	-4,0079
P11	-5,3851	-20,8394
P12	-66,4839	-17,0271
P13	-10,8499	-36,7066
P14	-32,8037	-6,6054
P15	-1,1493	-1,5309
SUMA	329,197	142,6
MEDIA	23,5140	10,1857

CAPACIDAD DE CENTRADO DE LA LIMA S1 (T'/T'' or T''/T')

Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D
P2	0,5726	0,5045
P3	0,1418	0,7256
P4	0,4034	0,6127
P5	0,0948	0,0864
P6	0,1201	0,9023
P7	0,8440	0,4229
P8	0,8636	0,5614
P9	0,0048	0,6782
P10	0,1515	0,8116
P11	0,3626	0,0154
P12	0,0335	0,0134
P13	0,5676	0,1628
P14	0,3901	0,6124
P15	0,9535	0,7575
SUMA	5,5039	6,8671
MEDIA	0,3931	0,4905

TRANSPORTE PRODUCIDO POR LA LIMA S2 (μm) ($T = T' - T''$)

Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D
P2	-14,6481	-16,7544
P3	-26,7893	-7,5378
P4	-6,391	-3,5746
P5	-28,4507	-15,1597
P6	-29,3117	-0,169
P7	-13,1777	-43,1367
P8	31,7154	-14,6491
P9	-90,3654	-3,9303
P10	-35,5001	-9,1089
P11	-5,6252	-22,445
P12	-89,1543	-14,9962
P13	-11,0009	-35,0159
P14	-32,6425	-2,3582
P15	-5,1575	-25,3564
SUMA	419,9298	214,1922
MEDIA ARITMÉTICA	29,9949	15,2994

CAPACIDAD DE CENTRADO DE LA LIMA S2 (T'/T'' or T''/T')

Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D
P2	0,6236	0,5269
P3	0,1048	0,5275
P4	0,5910	0,3669
P5	0,1153	0,3675
P6	0,1718	0,7890
P7	0,5117	0,2587
P8	0,2616	0,3285
P9	0,0090	0,8186
P10	0,2402	0,7380
P11	0,3831	0,0823
P12	0,0774	0,3194
P13	0,5654	0,2730
P14	0,1286	0,8866
P15	0,7560	0,9653
SUMA	4,5395	7,2482
MEDIA ARITMÉTICA	0,3242	0,5177

TRANSPORTE PRODUCIDO POR LA LIMA F1 (μm) ($T = T' - T''$)

Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D
P2	-23,8799	-12,2534
P3	-32,6383	-16,0254
P4	-11,2128	-3,1247
P5	-29,7048	-5,6667
P6	-28,3785	-6,0872
P7	8,2712	-60,8948
P8	44,1858	-4,6623
P9	-127,4011	-11,4104
P10	-45,3939	-8,4884
P11	-7,9676	-34,7948
P12	-72,9941	-28,5162
P13	-0,713	-37,3682
P14	-39,1278	-5,9676
P15	7,8343	-16,422
SUMA	479,7031	251,6821
MEDIA ARITMÉTICA	34,2645	17,9772

CAPACIDAD DE CENTRADO DE LA LIMA F1 (T'/T'' or T''/T')

Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D
P2	0,5042	0,6862
P3	0,2641	0,6865
P4	0,5704	0,4531
P5	0,2291	0,7353
P6	0,2029	0,3058
P7	0,7779	0,3048
P8	0,2782	0,8304
P9	0,0382	0,6308
P10	0,2016	0,7560
P11	0,3104	0,0720
P12	0,2576	0,4810
P13	0,9734	0,3541
P14	0,3736	0,7624
P15	0,8269	0,5365
SUMA	5,8085	7,5949
MEDIA ARITMÉTICA	0,4148	0,5424

TRANSPORTE PRODUCIDO POR LA LIMA F2 (μm) ($T = T' - T''$)

Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D
P2	-42,6058	-22,9400
P3	-39,9914	-20,6359
P4	-37,3609	-0,1928
P5	-33,9826	-22,522
P6	-60,7073	-20,0835
P7	-5,0633	-37,9665
P8	58,1464	-3,5642
P9	-192,4407	-26,4273
P10	-96,3897	-20,4299
P11	-45,6716	-45,5952
P12	-83,7651	-39,9302
P13	6,1444	-11,8279
P14	-40,2556	-12,7364
P15	-5,134	-16,2353
SUMA	747,6588	301,0871
MEDIA ARITMÉTICA	53,4042	21,5062

CAPACIDAD DE CENTRADO DE LA LIMA F2 (T'/T'' or T''/T')

Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D
P2	0,3661	0,5635
P3	0,2294	0,7267
P4	0,3116	0,9878
P5	0,2113	0,4953
P6	0,1079	0,1709
P7	0,9228	0,6196
P8	0,2415	0,8818
P9	0,0261	0,4287
P10	0,1157	0,6064
P11	0,0760	0,0685
P12	0,2540	0,4897
P13	0,8634	0,8105
P14	0,3901	0,6124
P15	0,9087	0,5443
SUMA	5,0246	8,0061
MEDIA ARITMÉTICA	0,3589	0,5718

TRANSPORTE PRODUCIDO POR LA LIMA F3 (μm) ($T = T' - T''$)

Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D
P2	-64,3078	-34,3895
P3	-32,4781	-37,7117
P4	-77,9711	-10,1108
P5	-45,9629	-32,1008
P6	-92,4340	-40,2665
P7	22,0858	10,5371
P8	59,5109	23,1888
P9	-410,319	-23,891
P10	-139,46	-38,3853
P11	-68,4199	-48,0571
P12	-102,0775	-47,0276
P13	20,1497	-27,2893
P14	-81,2437	-12,0867
P15	-16,5108	-1,2363
SUMA	1232,9312	386,2785
MEDIA ARITMÉTICA	88,0665	27,5913

CAPACIDAD DE CENTRADO DE LA LIMA F3 (T'/T'' or T''/T')

Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D
P2	0,3540	0,4623
P3	0,4679	0,5956
P4	0,2359	0,6736
P5	0,3142	0,5130
P6	0,0748	0,0972
P7	0,7548	0,9055
P8	0,3753	0,6483
P9	0,0135	0,4877
P10	0,1275	0,4609
P11	0,0532	0,0663
P12	0,2451	0,5085
P13	0,7423	0,6692
P14	0,2525	0,6553
P15	0,7560	0,9653
SUMA	4,767	7,7087
MEDIA ARITMÉTICA	0,3405	0,5506

Mediciones Sistema Profile Vortex®:

TRANSPORTE PRODUCIDO POR LA LIMA VORTEX V15 (μm) ($T = T' - T''$)

Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D
V4	-8,7962	-45,7321
V5	7,5767	13,0046
V6	-9,1991	17,3374
V7	-9,4783	4,1012
V8	-6,1772	-108,8092
V9	0,0887	-21,4441
V10	-4,3565	-3,0943
V11	-7,1293	-11,172
V12	-10,3425	-11,7359
V13	-1,3069	-21,9352
V14	-57,0358	-6,4151
V15	-3,0526	-11,1283
SUMA	124,5398	275,9094
MEDIA ARITMÉTICA	10,3783	22,9924

CAPACIDAD DE CENTRADO DE LA LIMA VORTEX V15 (T'/T'' or T''/T')

Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D
V4	0,6047	0,0545
V5	0,7424	0,6112
V6	0,6008	0,0578
V7	0,2585	0,7808
V8	0,6503	0,0489
V9	0,0887	0,0189
V10	0,6466	0,5806
V11	0,8257	0,3314
V12	0,3972	0,0678
V13	0,8439	0,4296
V14	0,2191	0,6435
V15	0,8630	0,3254
SUMA	6,7409	3,9504
MEDIA ARITMÉTICA	0,56174167	0,3292

TRANSPORTE PRODUCIDO POR LA LIMA VORTEX V20 (μm) ($T = T' - T''$)

Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D
V2	-3,1867	-16,2528
V3	-2,3229	-94,7412
V4	-9,3705	-52,9479
V5	-10,1033	-7,1094
V6	-4,7069	-5,4478
V7	-12,9491	-3,6577
V8	-12,693	-154,7947
V9	0,5371	-19,4702
V10	-6,3403	-2,6628
V11	-12,7238	-33,2291
V12	-5,472	-17,0517
V13	-7,2554	-20,8548
V14	-60,7009	33,4748
V15	-0,6166	-9,3858
SUMA	148,9785	471,0807
MEDIA ARITMÉTICA	10,6413	33,6486

CAPACIDAD DE CENTRADO DE LA LIMA VORTEX V20 (T'/T'' or T''/T')

Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D
V2	0,7500	0,0484
V3	0,7425	0,0019
V4	0,6225	0,0970
V5	0,7450	0,8270
V6	0,8274	0,8135
V7	0,2204	0,8476
V8	0,5217	0,0390
V9	0,5371	0,1779
V10	0,6323	0,6716
V11	0,7315	0,1599
V12	0,7596	0,0781
V13	0,5384	0,5934
V14	0,2175	0,3590
V15	0,9808	0,4396
SUMA	8,8267	5,1539
MEDIA ARITMÉTICA	0,6304	0,3681

TRANSPORTE PRODUCIDO POR LA LIMA VORTEX V25 (μm) ($T = T' - T''$)

Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D
V2	-4,6655	-17,2642
V3	15,3374	-85,432
V4	-4,8597	-50,8916
V5	-14,814	-3,497
V6	14,008	-52,6544
V7	-35,9431	-7,0188
V8	-11,3256	-180,3079
V9	0,9002	-16,1387
V10	8,4137	-13,0293
V11	-8,1394	-49,3258
V12	-14,25	-16,8871
V13	-10,4653	-32,8877
V14	-96,6455	-29,2044
V15	-0,3526	-10,5866
SUMA	240,12	565,1255
MEDIA ARITMÉTICA	17,1514	40,3661

CAPACIDAD DE CENTRADO DE LA LIMA VORTEX V25 (T'/T'' or T''/T')

Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D
V2	0,7030	0,0468
V3	0,6879	0,2333
V4	0,8075	0,1452
V5	0,6984	0,9149
V6	0,6827	0,3160
V7	0,1331	0,8051
V8	0,5781	0,0368
V9	0,9002	0,4001
V10	0,7409	0,3412
V11	0,8127	0,1144
V12	0,5423	0,0945
V13	0,4583	0,4809
V14	0,1684	0,5167
V15	0,9911	0,4264
SUMA	8,9046	4,8723
MEDIA ARITMÉTICA	0,6360	0,3480

TRANSPORTE PRODUCIDO POR LA LIMA VORTEX V30 (μm) ($T = T' - T''$)

Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D
V2	4,3842	-9,6408
V3	37,6616	-99,8351
V4	-3,7352	-61,3293
V6	13,8964	-84,1805
V7	-57,3784	-26,3869
V8	-6,4542	-222,5091
V9	0,6654	-31,0432
V11	-23,6601	-77,5744
V12	-19,5485	-17,6429
SUMA	-167,384	-630,1422
MEDIA ARITMÉTICA	18,5982	70,0158

CAPACIDAD DE CENTRADO DE LA LIMA VORTEX V30 (T'/T'' or T''/T')

Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D
V2	0,0389	0,4558
V3	0,4744	0,2808
V4	0,8556	0,1254
V6	0,6864	0,2922
V7	0,0943	0,5247
V8	0,7799	0,0336
V9	0,6654	0,3136
V11	0,6064	0,07836
V12	0,4884	0,1003
SUMA	4,6897	2,2047
MEDIA ARITMÉTICA	0,5210	0,2449

Tablas comparativas entre limas de permeabilidad de tamaño apical #10:

Lima K#10 Vs Lima C+10

TRANSPORTE (μm)

Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D	Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D
P2	-15,6596	-9,7569	V2	7,2046	0,2392
P3	-1,6178	3,8735	V3	-1,6416	-3,2259
P4	-0,4639	0,7066	V4	2,3113	-9,1868
P5	-0,5322	0,148	V5	10,2959	5,313
P6	-1,7021	-0,1525	V6	-22,5566	14,4052
P7	-3,6802	3,0757	V7	-0,112	11,4398
P8	-2,2655	-2,5446	V8	-5,8264	-20,9145
P9	-0,4	-1,0607	V9	0,0447	-7,1436
P10	-0,0219	7,6208	V10	-3,8653	-4,0849
P11	-2,5712	-2,1604	V11	-2,1785	-2,3496
P12	-9,383	-0,8317	V12	-9,3231	-5,2503
P13	-4,1938	-5,5444	V13	-8,2158	1,8398
P14	-2,0535	-3,9399	V14	-22,4627	-6,6124
P15	-10,9021	-0,7058	V15	-2,7568	-10,2203
SUMA	55,4468	42,1215	SUMA	98,7953	102,2253
MEDIA	3,9604	3,0086	MEDIA	7,0568	7,3018

CAPACIDAD DE CENTRADO

Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D	Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D
P2	0,5619	0,6278	V2	0,0389	0,4558
P3	0,1158	0,0005	V3	0,0863	0,0247
P4	0,0030	0,3182	V4	0,8189	0,1840
P5	0,0005	0,5227	V5	0,4491	0,7512
P6	0,2832	0,0551	V6	0,0019	0,0403
P7	0,3035	0,2625	V7	0,1344	0,1505
P8	0,8136	0,7253	V8	0,5788	0,2019
P9	0,1937	0,4686	V9	0,0447	0,0424
P10	0,7807	0,2253	V10	0,5972	0,0738
P11	0,5389	0,1312	V11	0,2818	0,0513
P12	0,5389	0,1312	V12	0,2300	0,0377
P13	0,4824	0,5275	V13	0,0119	0,8855
P14	0,00009	0,1848	V14	0,3802	0,6065
P15	0,7560	0,9653	V15	0,7526	0,1338
SUMA	5,3721	5,1460	SUMA	4,4067	3,6394
MEDIA	0,3837	0,3675	MEDIA	0,3147	0,2599

Tablas comparativas entre limas rotatorias de Ni-Ti:

Protaper S2 Vs. Vortex 15

TRANSPORTE (μm)

Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D	Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D
P2	-14,6481	-16,7544	V4	-8,7962	-45,7321
P3	-26,7893	-7,5378	V5	7,5767	13,0046
P4	-6,391	-3,5746	V6	-9,1991	17,3374
P5	-28,4507	-15,1597	V7	-9,4783	4,1012
P6	-29,3117	-0,169	V8	-6,1772	-108,8092
P7	-13,1777	-43,1367	V9	0,0887	-21,4441
P8	31,7154	-14,6491	V10	-4,3565	-3,0943
P9	-90,3654	-3,9303	V11	-7,1293	-11,172
P10	-35,5001	-9,1089	V12	-10,3425	-11,7359
P11	-5,6252	-22,445	V13	-1,3069	-21,9352
P12	-89,1543	-14,9962	V14	-57,0358	-6,4151
P13	-11,0009	-35,0159	V15	-3,0526	-11,1283
P14	-32,6425	-2,3582			
P15	-5,1575	-25,3564			
SUMA	419,9298	214,1922	SUMA	124,5398	275,9094
MEDIA	29,9949	15,2994	MEDIA	10,3783	22,9924

CAPACIDAD DE CENTRADO

Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D	Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D
P2	0,6236	0,5269	V4	0,6047	0,0545
P3	0,1048	0,5275	V5	0,7424	0,6112
P4	0,5910	0,3669	V6	0,6008	0,0578
P5	0,1153	0,3675	V7	0,2585	0,7808
P6	0,1718	0,7890	V8	0,6503	0,0489
P7	0,5117	0,2587	V9	0,0887	0,0189
P8	0,2616	0,3285	V10	0,6466	0,5806
P9	0,0090	0,8186	V11	0,8257	0,3314
P10	0,2402	0,7380	V12	0,3972	0,0678
P11	0,3831	0,0823	V13	0,8439	0,4296
P12	0,0774	0,3194	V14	0,2191	0,6435
P13	0,5654	0,2730	V15	0,8630	0,3254
P14	0,1286	0,8866			
P15	0,7560	0,9653			
SUMA	4,5395	7,2482	SUMA	6,7409	3,9504
MEDIA	0,3242	0,5177	MEDIA	0,56174167	0,3292

Protaper F1 Vs. Vortex 20

TRANSPORTE (μm)

Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D	Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D
P2	-23,8799	-12,2534	V2	-3,1867	-16,2528
P3	-32,6383	-16,0254	V3	-2,3229	-94,7412
P4	-11,2128	-3,1247	V4	-9,3705	-52,9479
P5	-29,7048	-5,6667	V5	-10,1033	-7,1094
P6	-28,3785	-6,0872	V6	-4,7069	-5,4478
P7	8,2712	-60,8948	V7	-12,9491	-3,6577
P8	44,1858	-4,6623	V8	-12,693	-154,7947
P9	-127,4011	-11,4104	V9	0,5371	-19,4702
P10	-45,3939	-8,4884	V10	-6,3403	-2,6628
P11	-7,9676	-34,7948	V11	-12,7238	-33,2291
P12	-72,9941	-28,5162	V12	-5,472	-17,0517
P13	-0,713	-37,3682	V13	-7,2554	-20,8548
P14	-39,1278	-5,9676	V14	-60,7009	33,4748
P15	7,8343	-16,422	V15	-0,6166	-9,3858
SUMA	479,7031	251,6821	SUMA	148,9785	471,0807
MEDIA	34,2645	17,9772	MEDIA	10,6413	33,6486

CAPACIDAD DE CENTRADO

Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D	Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D
P2	0,5042	0,6862	V2	0,7500	0,0484
P3	0,2641	0,6865	V3	0,7425	0,0019
P4	0,5704	0,4531	V4	0,6225	0,0970
P5	0,2291	0,7353	V5	0,7450	0,8270
P6	0,2029	0,3058	V6	0,8274	0,8135
P7	0,7779	0,3048	V7	0,2204	0,8476
P8	0,2782	0,8304	V8	0,5217	0,0390
P9	0,0382	0,6308	V9	0,5371	0,1779
P10	0,2016	0,7560	V10	0,6323	0,6716
P11	0,3104	0,0720	V11	0,7315	0,1599
P12	0,2576	0,4810	V12	0,7596	0,0781
P13	0,9734	0,3541	V13	0,5384	0,5934
P14	0,3736	0,7624	V14	0,2175	0,3590
P15	0,8269	0,5365	V15	0,9808	0,4396
SUMA	5,8085	7,5949	SUMA	8,8267	5,1539
MEDIA	0,4148	0,5424	MEDIA	0,6304	0,3681

Protaper F2 Vs. Vortex 25

TRANSPORTE (μm)

Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D	Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D
P2	-42,6058	-22,9400	V2	-4,6655	-17,2642
P3	-39,9914	-20,6359	V3	15,3374	-85,432
P4	-37,3609	-0,1928	V4	-4,8597	-50,8916
P5	-33,9826	-22,522	V5	-14,814	-3,497
P6	-60,7073	-20,0835	V6	14,008	-52,6544
P7	-5,0633	-37,9665	V7	-35,9431	-7,0188
P8	58,1464	-3,5642	V8	-11,3256	-180,3079
P9	-192,4407	-26,4273	V9	0,9002	-16,1387
P10	-96,3897	-20,4299	V10	8,4137	-13,0293
P11	-45,6716	-45,5952	V11	-8,1394	-49,3258
P12	-83,7651	-39,9302	V12	-14,25	-16,8871
P13	6,1444	-11,8279	V13	-10,4653	-32,8877
P14	-40,2556	-12,7364	V14	-96,6455	-29,2044
P15	-5,134	-16,2353	V15	-0,3526	-10,5866
SUMA	747,6588	301,0871	SUMA	240,12	565,1255
MEDIA	53,4042	21,5062	MEDIA	17,1514	40,3661

CAPACIDAD DE CENTRADO

Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D	Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D
P2	0,3661	0,5635	V2	0,7030	0,0468
P3	0,2294	0,7267	V3	0,6879	0,2333
P4	0,3116	0,9878	V4	0,8075	0,1452
P5	0,2113	0,4953	V5	0,6984	0,9149
P6	0,1079	0,1709	V6	0,6827	0,3160
P7	0,9228	0,6196	V7	0,1331	0,8051
P8	0,2415	0,8818	V8	0,5781	0,0368
P9	0,0261	0,4287	V9	0,9002	0,4001
P10	0,1157	0,6064	V10	0,7409	0,3412
P11	0,0760	0,0685	V11	0,8127	0,1144
P12	0,2540	0,4897	V12	0,5423	0,0945
P13	0,8634	0,8105	V13	0,4583	0,4809
P14	0,3901	0,6124	V14	0,1684	0,5167
P15	0,9087	0,5443	V15	0,9911	0,4264
SUMA	5,0246	8,0061	SUMA	8,9046	4,8723
MEDIA	0,3589	0,5718	MEDIA	0,6360	0,3480

Protaper F3 Vs. Vortex 30

TRANSPORTE (μm)

Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D	Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D
P2	-64,3078	-34,3895	V2	4,3842	-9,6408
P3	-32,4781	-37,7117	V3	37,6616	-99,8351
P4	-77,9711	-10,1108	V4	-3,7352	-61,3293
P5	-45,9629	-32,1008	V6	13,8964	-84,1805
P6	-92,4340	-40,2665	V7	-57,3784	-26,3869
P7	22,0858	10,5371	V8	-6,4542	-222,5091
P8	59,5109	23,1888	V9	0,6654	-31,0432
P9	-410,319	-23,891	V11	-23,6601	-77,5744
P10	-139,46	-38,3853	V12	-19,5485	-17,6429
P11	-68,4199	-48,0571			
P12	-102,0775	-47,0276			
P13	20,1497	-27,2893			
P14	-81,2437	-12,0867			
P15	-16,5108	-1,2363			
SUMA	1232,9312	386,2785	SUMA	-167,384	-630,1422
MEDIA	88,0665	27,5913	MEDIA	18,5982	70,0158

CAPACIDAD DE CENTRADO

Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D	Muestra	Eje V-L/P	Eje M-D
P2	0,3540	0,4623	V2	0,0389	0,4558
P3	0,4679	0,5956	V3	0,4744	0,2808
P4	0,2359	0,6736	V4	0,8556	0,1254
P5	0,3142	0,5130	V6	0,6864	0,2922
P6	0,0748	0,0972	V7	0,0943	0,5247
P7	0,7548	0,9055	V8	0,7799	0,0336
P8	0,3753	0,6483	V9	0,6654	0,3136
P9	0,0135	0,4877	V11	0,6064	0,07836
P10	0,1275	0,4609	V12	0,4884	0,1003
P11	0,0532	0,0663			
P12	0,2451	0,5085			
P13	0,7423	0,6692			
P14	0,2525	0,6553			
P15	0,7560	0,9653			
SUMA	4,767	7,7087	SUMA	4,6897	2,2047
MEDIA	0,3405	0,5506	MEDIA	0,5210	0,2449

ANEXO 4. TABLAS DETERMINACIÓN FORMA DEL FORAMEN MAYOR

Determinación de la forma del foramen mayor:

Para determinar la forma del foramen mayor después de la utilización de cada instrumento se realizó una comparación entre el tamaño de los dos ejes transversales medidos. Se consideró como conducto oval, cuando la diferencia entre ambos ejes es mayor a 20 μm . Sin embargo aquellos que estaban por debajo de 20 se volvieron a inspeccionar visualmente, ya que en algunos casos había una deformación en la zona fuera de ejes.

Determinación de la forma del foramen mayor después de la utilización de limas de tamaño apical menor a 0.20mm

Muestra	Lima	Eje X	Eje Y	Diferencia	Forma
P2	S1	161,1047	162,7816	1,6769	CIRCULAR
	S2	166,376	172,6653	6,2893	CIRCULAR
P3	S1	171,1638	133,1572	38,0066	OVAL
	S2	186,1336	138,7254	47,4082	OVAL
P4	S1	151,1734	150,6534	0,52	CIRCULAR
	S2	170,1143	155,921	14,1933	CIRCULAR
P5	S1	219,0231	228,4682	9,4451	CIRCULAR
	S2	219,6878	249,6775	29,9897	OVAL
P6	S1	229,8585	247,4928	17,6343	OVAL
	S2	232,0603	248,1506	16,0903	CIRCULAR
P7	S1	96,1578	98,0302	1,8724	CIRCULAR
	S2	106,4314	125,7419	19,3105	OVAL
P8	S1	116,7472	152,5378	35,7906	OVAL
	S2	126,1649	167,0539	40,889	OVAL
P9	S1	169,921	90,2751	79,6459	OVAL
	S2	179,9877	101,9328	78,0549	OVAL
P10	S1	145,0707	117,771	27,2997	OVAL
	S2	156,7607	139,6544	17,1063	CIRCULAR
P11	S1	227,9619	257,4163	29,4544	OVAL
	S2	229,0628	262,3987	33,3359	OVAL
P12	S1	139,9428	98,5425	41,4003	OVAL
	S2	174,6521	110,1242	64,5279	OVAL
P13	S1	220,6971	162,7041	57,993	OVAL
	S2	231,0292	162,9871	68,0421	OVAL
P14	S1	145,8514	116,3882	29,4632	OVAL
	S2	155,3308	131,3284	24,0024	OVAL
P15	S1	185,3629	92,7492	92,6137	OVAL
	S2	193,6043	125,7517	67,8526	OVAL
V4	V15	295,3141	237,8223	57,4918	OVAL

V5	V15	109,2395	110,9258	1,6863	CIRCULAR
V6	V15	132,8125	143,56	10,7475	CIRCULAR
V7	V15	160,8341	141,3849	19,4492	OVAL
V8	V15	190,7907	99,675	91,1157	OVAL
V9	V15	235,0703	207,215	27,8553	OVAL
V10	V15	178,8689	178,9561	0,0872	CIRCULAR
V11	V15	206	355,5046	149,5046	OVAL
V12	V15	200,2678	204,1918	3,924	CIRCULAR
V13	V15	169	114,7452	54,2548	OVAL
V14	V15	173	114,7452	58,2548	OVAL
V15	V15	157	207,3912	50,3912	OVAL

Determinación de la forma del foramen mayor después de la utilización de limas de tamaño apical mayor a 0.20mm

Muestra	Lima	Eje X	Eje Y	Diferencia	Forma
P2	F1	175,641	188,3923	12,7513	CIRCULAR
	F2	195,0147	204,7113	9,6966	CIRCULAR
	F3	237,9891	226,0822	11,9069	CIRCULAR
P3	F1	209,1474	200,5856	8,5618	CIRCULAR
	F2	216,8811	244,7409	27,8598	OVAL
	F3	242,6798	263,1849	20,5051	CIRCULAR
P4	F1	186,2395	156,5053	29,7342	OVAL
	F2	216,4328	179,765	36,6678	OVAL
	F3	271,379	200,0628	71,3162	OVAL
P5	F1	231,1825	254,0615	22,879	OVAL
	F2	236,0085	283,6348	47,6263	OVAL
	F3	271,9034	316,6292	44,7258	OVAL
P6	F1	233,4125	258,168	24,7555	OVAL
	F2	265,9737	275,0847	9,111	OVAL
	F3	297,974	295,6629	2,3111	OVAL
P7	F1	132,1521	166,783	34,6309	OVAL
	F2	192,182	214,1617	21,9797	OVAL
	F3	223,9953	265,0945	41,0992	OVAL
P8	F1	147,5067	189,0169	41,5102	OVAL
	F2	153,9432	208,0305	54,0873	OVAL
	F3	205,8942	243,8746	37,9804	OVAL
P9	F1	225,4966	115,2779	110,2187	OVAL
	F2	290,769	128,6304	162,1386	OVAL
	F3	509,5347	131,9079	377,6268	OVAL
P10	F1	167,1317	140,3087	26,823	OVAL
	F2	220,4277	162,6092	57,8185	OVAL
	F3	279,043	183,2608	95,7822	OVAL
P11	F1	231,5896	276,1239	44,5343	OVAL

	F2	269,6362	288,2341	18,5979	OVAL
	F3	292,5673	290,8162	1,7511	CIRCULAR
P12	F1	190,8123	162,4382	28,3741	OVAL
	F2	209,6786	197,6312	12,0474	CIRCULAR
	F3	237,233	225,3936	11,8394	CIRCULAR
P13	F1	248,0563	176,3412	71,7151	OVAL
	F2	282,7764	207,1788	75,5976	OVAL
	F3	307,4236	259,5923	47,8313	OVAL
P14	F1	198,8537	136,3704	62,4833	OVAL
	F2	204,8111	145,0842	59,7269	OVAL
	F3	249,1914	150,1297	99,0617	OVAL
P15	F1	219,7237	136,0987	83,625	OVAL
	F2	244,4254	60,7374	183,688	OVAL
	F3	131,344	151,6994	20,3554	OVAL
V2	V20	436,7467	317,7919	118,9548	OVAL
	V25	437,7997	322,2407	115,559	OVAL
	V30	446,8699	334,7268	112,1431	OVAL
V3	V20	107,3381	168,7219	61,3838	OVAL
	V25	174,576	211,0613	36,4853	OVAL
	V30	197,2842	251,4424	54,1582	OVAL
V4	V20	308,6407	242,3974	66,2433	OVAL
	V25	312,4994	247,7658	64,7336	OVAL
	V30	323,2365	250,1141	73,1224	OVAL
V5	V20	127,1123	132,149	5,0367	CIRCULAR
	V25	141,4282	135,773	5,6552	CIRCULAR
V6	V20	206,3345	156,5102	50,8243	OVAL
	V25	214,6585	180,9617	33,6968	OVAL
	V30	267,0336	181,4129	85,6207	OVAL
V7	V20	171,8756	145,5715	26,3041	OVAL
	V25	192,5351	172,2827	20,2524	CIRCULAR
	V30	212,154	194,637	17,517	CIRCULAR
V8	V20	238,1464	110,9106	127,2358	OVAL
	V25	264,8832	112,892	151,9912	OVAL
	V30	308,7638	122,7194	186,0444	OVAL
V9	V20	240,6972	218,0171	22,6801	OVAL
	V25	250,4655	230,4128	20,0527	OVAL
	V30	272,2102	238,9545	33,2557	OVAL
V10	V20	180,761	186,8031	6,0421	OVAL
	V25	193,7349	215,2017	21,4668	OVAL
V11	V20	230	362,9051	132,9051	OVAL
	V25	246	359,6443	113,6443	OVAL
	V30	275	377,3946	102,3946	OVAL
V12	V20	207	220,2687	13,2687	OVAL
	V25	207	228,2425	21,2425	OVAL
	V30	208	237,1002	29,1002	OVAL
V13	V20	178	182,043	4,043	CIRCULAR
	V25	181	194,1425	13,1425	CIRCULAR

V14	V20	179	156,1429	22,8571	OVAL
	V25	220	176,8275	43,1725	OVAL
V15	V20	159	229,7244	70,7244	OVAL
	V25	161	244,7988	83,7988	OVAL

ANEXO 5. ARTÍCULOS ORIGINALES
