



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE ODONTOLOGÍA CONSERVADORA
ÁREA DE ENDODONCIA**

**ESTUDIO COMPARATIVO IN VITRO DEL GRADO DE TRANSPORTACIÓN DEL
TERCIO MEDIO Y APICAL DEL CANAL RADICULAR, UTILIZANDO DOS
SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN MECANIZADA DE NÍQUEL-TITANIO:
WAVEONE® Y RACE®.**

GERHART KURT WEGENER KLENNER

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
CIRUJANO-DENTISTA**

TUTOR PRINCIPAL

PROF. DRA. MARCELA ALCOTA R.

TUTORES ASOCIADOS

DRA. CLAUDIA DÍAZ G.

PROF. DR. CRISTIAN VERGARA N.

**SANTIAGO – CHILE
2013**

*Dedicado a mis padres,
por su incondicional apoyo y amor...*

AGRADECIMIENTOS

A mis hermanos, por apoyarme en todo momento, por subirme el ánimo siempre y por los momentos compartidos y los que vendrán; espero poder retribuirles todo lo que me han dado.

A mis padres, por guiarme en este largo camino, siempre motivándome a seguir adelante, les debo todo lo que soy y seré.

A mi abuelita Ema, mi mamá, mis hermanas Karlita y Ani, y mis sobrinos Noa y Nastasia, quienes no dudaron en ser mis pacientes en la Universidad; espero haberlos acercado a la profesión con cariño y dedicación, y cambiado su actitud hacia el dentista.

A mis amigos, compañeros de la vida y que considero mis hermanos... Francisco, Cristóbal, Ángeles, Karol, Camila, Juan, Daniela, Alfonso, Karla, Magali, Alejandro, Marcela, Andrés, José Ignacio, Pia, Isi, Coto, Daniella y Cinthya. Por estar conmigo en todas y hacerme reír como nadie, los quiero demasiado!!

A Cristián, por todos los momentos compartidos y su ayuda durante la realización de este proyecto (y por su paciencia con mis ratos de mal genio). Eres el mejor!

A la Universidad de Chile, por permitirme conocer a tanta gente valiosísima, quienes han compartido este camino conmigo:

Mis compañeros de curso, 'fundación las rosas' más agregados varios en el camino, y que, por sobre todo, se han transformado en grandes amigos: Somi, Fefi, Pollo, Caro, Dani S., Bambi, Jesu, Consu, Poli, Mari, Seba V., Lucho, Cana, Dani L., Mattmann, Jaime, Ceci, Nico C., Sung, Gianfranco, Jp.

A la Dra. Marcela Alcota, por incentivar y guiarme tanto a ser ayudante de la asignatura de endodoncia como en el desarrollo de este proyecto de investigación, y por motivarme siempre con su actitud positiva y liderazgo.

A la Dra. Claudia Díaz, por su ayuda en el desarrollo de este proyecto.

Al Dr. Cristián Vergara, por ayudarme a realizar el análisis estadístico, y por siempre estar a disposición de sus alumnos.

Al equipo docente de Operatoria Clínica, especialmente a los Dres. Claudia

Sommariva y Roque Arias, por reencantarme con la asignatura y invitarme a ser su ayudante, ha sido una de las experiencias más enriquecedoras durante esta etapa que hoy termina.

A todos los docentes y funcionarios de la facultad que, directa o indirectamente, han participado de mi formación académica y profesional y hacen posible que el espíritu de nuestra querida Universidad siga vivo hoy más que nunca.

ÍNDICE

RESUMEN.....	pág. 1
INTRODUCCIÓN.....	pág. 2
MARCO TEÓRICO.....	pág. 3
- Morfología radicular y Transportación.....	pág. 3
- Aleación níquel-titanio en endodoncia.....	pág. 4
- Sistema de instrumentación rotatoria RaCe.....	pág. 6
- Sistema de instrumentación reciprocante WaveOne.....	pág. 11
- Tomografía Computarizada Cone Beam y Transportación del canal....	pág. 15
HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	pág. 16
OBJETIVOS.....	pág. 17
- General.....	pág.17
- Específicos.....	pág. 17
MATERIALES Y MÉTODOS.....	pág. 18
- Variables.....	pág. 18
- Selección de la muestra.....	pág. 18
- Preparación de la muestra.....	pág. 19
- Evaluación imagenológica.....	pág. 20
- Procedimiento de instrumentación.....	pág. 21
- Grupos experimentales.....	pág. 22
- Análisis de la preparación del canal.....	pág. 23
- Análisis estadístico de datos.....	pág. 24
RESULTADOS.....	pág. 26
DISCUSIÓN.....	pág. 29
CONCLUSIONES.....	pág. 32
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	pág. 33

RESUMEN

Este estudio evaluó la transportación del tercio medio y apical del canal radicular producida por la instrumentación con el sistema reciprocante WaveOne versus el sistema rotatorio RaCe.

Se seleccionaron 50 canales radiculares de molares humanos extraídos, con curvaturas severas entre 25° y 35°, mediante inspección morfológica y radiografías periapicales para determinar la curvatura radicular. Se distribuyeron al azar en dos grupos, fueron montados en una llave de silicona y escaneados mediante tomografía computarizada cone beam previo a la instrumentación. En el grupo 1, los canales fueron instrumentados con el sistema WaveOne. En el grupo 2, fueron instrumentados con el sistema RaCe. Después de la instrumentación fueron escaneados nuevamente usando tomografía computarizada cone beam, montados en la misma llave de silicona. Se compararon las imágenes de cortes transversales a los 2, 4, 6 y 8 mm medidos desde el ápice de los canales pre y post instrumentación, midiendo el grosor de las paredes proximal, furcal, vestibular y palatina/lingual de los canales. Se determinó el desgaste de las paredes del canal y el grado de transportación producido.

Los resultados obtenidos indican que ambos sistemas producen transportación del canal en sentido mesio-distal a los 6 y 8 mm medidos desde el ápice (tercio medio del canal), desplazándolo hacia la zona furcal ($p < 0,05$); sin diferencias significativas en el grado de transportación entre los dos sistemas (a los 6 mm $p = 0,25$ y a los 8 mm $p = 0,14$). Además el sistema WaveOne produce un desgaste no homogéneo de las paredes del canal a los 6mm ($p = 0,01$) y 8mm ($p = 0,00$).

En conclusión, ambos sistemas producen transportación del tercio medio del canal radicular hacia la zona furcal, teniendo además el sistema WaveOne un desgaste mayor y no homogéneo a este nivel.

INTRODUCCIÓN

La transportación del canal es un accidente de procedimiento muy frecuente durante la preparación quimiomecánica de canales curvos. Se define como la remoción excesiva de dentina, en forma irregular, de alguna de las paredes del canal, desplazándolo de su posición original (Hartmann, Barletta, Camargo Fontanella, & Vanni, 2007), teniendo dos grandes consecuencias:

- Remanencia de restos pulpares y bacterias, por quedar zonas sin instrumentar, comprometiendo el éxito de la terapia endodóntica al perpetuar la patología pulpar o periapical (Wu, Fan, & Wesselink, 2000).
- Modificación de la geometría del canal, lo que alteraría el comportamiento físico del diente ante las cargas, comprometiendo el pronóstico de la sobrevida del diente tratado endodónticamente (Lang, Korkmaz, Schneider, & Raab, 2006; Reeh, Messer, & Douglas, 1989).

A modo de evitar la transportación del canal y otros accidentes, los fabricantes han desarrollado nuevas técnicas e instrumentos con diversos diseños confeccionados a partir de distintas aleaciones metálicas (Goldberg & Araujo, 1997), principalmente níquel-titanio (NiTi o Nitinol) (Civjan, Huget, & DeSimon, 1975). Los instrumentos rotatorios de NiTi han demostrado ser más flexibles, rápidos y seguros que los instrumentos manuales clásicos de acero inoxidable (Javaheri & Javaheri, 2007; Leonardo & De Toledo Leonardo, 2002; Walia, Brantley, & Gerstein, 1988).

Para evaluar la transportación del canal se han utilizado diversas metodologías (Bramante, Berbert, & Borges, 1987; Esposito & Cunningham, 1995; Jardine & Gulabivala, 2000; Kuttler, Garala, Perez, & Dorn, 2001; Peters, Laib, Gohring, & Barbakow, 2001; Schafer & Vlassis, 2004b), entre ellas se destaca la evaluación imagenológica mediante Tomografía Computarizada Cone Beam, ya que permite la visualización del canal antes, durante y después de la preparación quimiomecánica (Pasternak-Junior, Sousa-Neto, & Silva, 2009; Patel, Dawood, Ford, & Whaites, 2007; Peters et al., 2001; Peters, Laib, Ruegsegger, & Barbakow, 2000).

MARCO TEÓRICO

Morfología radicular y transportación

La estabilidad dentaria (ej.: resistencia a la fractura) está determinada esencialmente por la integridad de la corona y la raíz (Lang et al., 2006).

De acuerdo a Reeh et al. (1989), los procedimientos endodónticos sólo tienen un pequeño efecto en la disminución de la rigidez relativa del diente (un 5%), producida totalmente por la cavidad de acceso, en comparación a la preparación de una cavidad oclusal que ocasiona una disminución de 20%, o una cavidad MOD que la disminuye un 63%, principalmente por la pérdida de integridad de los rebordes marginales. La estructura dentaria debe ser preservada consecuentemente con un buen acceso endodóntico, y los rebordes marginales deben mantenerse a menos que su remoción sea inevitable por propósitos restauradores (Reeh et al., 1989).

Complementariamente, Lang et al. (2006) en forma significativa analizaron el impacto de las diferentes etapas del tratamiento endodóntico en la rigidez de la raíz, encontrando que tanto la preparación de la cavidad de acceso como la preparación para anclaje de postes (en dos etapas, primero cónica y luego cilíndrica), producían una desestabilización significativa del diente, mientras que la instrumentación del canal radicular, sin alterar excesivamente sus límites, no aumentaba la deformabilidad en forma significativa. Esto sugiere otro importante factor estabilizante para el diente: la geometría natural del canal radicular (Lang et al., 2006). Considerando los efectos desestabilizantes de la preparación para el anclaje de postes, debido a que la fresa para postes es rígida y por ende no tiene oportunidad de adaptarse a la forma del canal, es inevitable producir una elongación y rectificación artificial del curso del canal, ocasionando una gran desestabilización de la raíz debido a la modificación de su geometría natural. Básicamente, cualquier remoción de tejido duro en el canal aumenta la deformabilidad de la raíz, por lo tanto, preparaciones más conservadoras resultan en alteraciones menores, siempre y cuando la geometría del canal sea preservada (Lang et al., 2006).

El parámetro que más se menciona en la literatura para describir las

variaciones en la geometría es la transportación del canal, esta se define como el cambio en la ubicación espacial de éste respecto a su posición original debido a la remoción excesiva de dentina en una sola dirección dentro del canal (Hartmann et al., 2007), dejando paredes sin ser instrumentadas y no eliminando remanentes de infección que comprometerían la reparación apical (Wu et al., 2000).

La transportación del canal es un accidente de procedimiento muy frecuente durante la instrumentación de canales curvos, entre los cuales se encuentran también la deformación del foramen apical, formación de falsas vías, escalones, perforaciones, bloqueos o taponamientos y fracturas de instrumentos (Torabinejad, 1990). La acción de los instrumentos endodónticos en las paredes del canal radicular tiende a rectificar el canal, modificando su forma original (Goldberg & Araujo, 1997), esto sucede especialmente con las limas de acero inoxidable debido a su rigidez, la que aumenta a mayor diámetro del instrumento (Chen & Messer, 2002).

Los fabricantes han introducido instrumentos con nuevos diseños y de distintas aleaciones metálicas en un intento de mejorar su flexibilidad y así evitar la transportación del canal (Goldberg & Araujo, 1997).

Aleación níquel-titanio en endodoncia

La aleación de níquel-titanio fue desarrollada en el Laboratorio de Artillería Naval de la Marina estadounidense, recibiendo el nombre genérico de Nitinol (Nickel-Titanium Naval Ordnance Laboratory, Silver Spring, Maryland, USA)

Civjan et al. al (1975), al observar sus propiedades de memoria mecánica o 'memoria de forma', flexibilidad, superelasticidad, propiedades antimagnéticas y resistencia a la corrosión, sugirió la posibilidad de utilizar el Nitinol en amplios campos de la medicina y odontología, específicamente su utilización para la fabricación de limas o instrumentos cortantes manuales o rotatorios con alta resistencia mecánica y a la corrosión, y que no se emboten.

No fue sino hasta 1988 que se utilizó la aleación NiTi en endodoncia por primera vez, cuando Walia et al. (1988) fabricaron limas K a partir de arcos

ortodóncicos de alambre de Nitinol, demostrando que eran 2 a 3 veces más flexibles, y tenían mayor resistencia a la fractura por torsión que las limas K de acero inoxidable, haciéndolas prometedoras para la instrumentación de canales curvos.

La elevada flexibilidad del Nitinol permitió a los fabricantes de instrumentos, a los inicios de los años noventa, utilizarlo en las técnicas rotatorias intracanal que hasta el momento habían fracasado, ya que permitía que los instrumentos realizaran un giro de 360° dentro del canal. Es así como surgió el primer conjunto de instrumentos rotatorios fabricados a partir de esta aleación: NT Sensor (NT Company, EE. UU.) (Leonardo & De Toledo Leonardo, 2002)

El advenimiento de los instrumentos rotatorios de níquel-titanio ha revolucionado la endodoncia reduciendo la fatiga del operador, el tiempo requerido para finalizar la preparación y los errores de procedimiento o accidentes asociados con la instrumentación del canal radicular (Javaheri & Javaheri, 2007).

Hoy en día, estos instrumentos son usados comúnmente para el tratamiento endodóntico. La preparación quimiomecánica del canal es más fácil y rápida que con instrumentos manuales, pero no están exentos de complicaciones, ya que a pesar de su mayor flexibilidad y resistencia comparado con los instrumentos de acero inoxidable, parecen tener un mayor riesgo de fractura, la que puede ser por fatiga cíclica (flexión) o por fatiga torsional, por lo que se debe tener cuidado de no sobreutilizarlos (Leonardo & De Toledo Leonardo, 2002; Park et al., 2010).

En el mercado nacional se encuentran disponibles varios sistemas de instrumentación rotatoria, presentando diversas características y ventajas unos respecto a otros. Se hace interesante, entonces, comparar el grado de transportación causado por la instrumentación con un sistema de reciente introducción, como es el sistema WaveOne de Dentsply-Maillefer, con el causado por otro sistema que lleva ya un buen tiempo, y respaldado por buenos resultados, como es RaCe.

Sistema de instrumentación rotatoria RaCe

RaCe (Reamer with Alternating Cutting Edges) ("RaCe: Un nuevo sistema rotatorio," 2004) es un sistema desarrollado por la empresa Suiza FKG Dentaire (FKG Dentaire SA, La Chaux-des-fonds, Suiza), que se introdujo en el año 2001 al mercado, en el Congreso Odontológico de Colonia, Alemania (Leonardo & De Toledo Leonardo, 2002).

Se caracteriza por poseer un diseño de hoja cortante no enroscante, construida alternadamente mediante zonas cortantes rectas y torcidas (Fig. 1). Posee una sección triangular para mejor penetración y corte, tratamiento electroquímico de la superficie de las limas para un acabado más liso, punta de seguridad no cortante, y el Safety Memo Disc (SMD) para facilitar la cuenta de veces que se utiliza cada instrumento para prevenir la fatiga del material (Fig. 2).

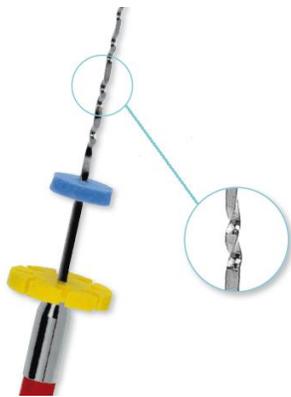


Fig. 1: Lima RaCe.

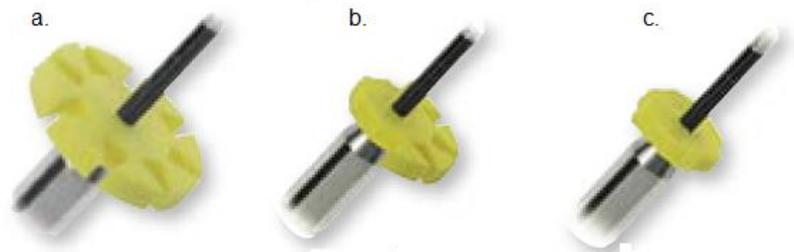


Fig. 2: a. SMD completa, sin uso. b. SMD con algunos usos. c. SMD con todos los usos, descartar.

En los mangos de los instrumentos existe una banda de color para identificar el tamaño ISO de la punta de cada uno, un tope de silicona para identificar el largo total y de la parte activa, y el SMD tiene un color que indica la conicidad del instrumento (Fig. 3).

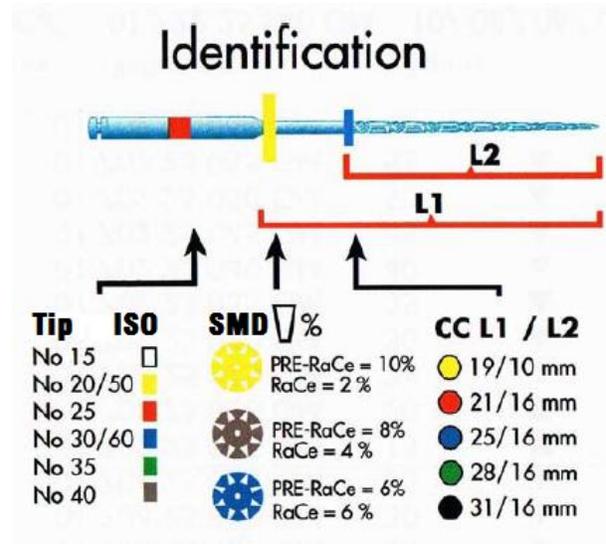


Fig. 3: Identificación instrumentos RaCe.

Este sistema se compone por tres tipos de limas, Pre RaCe para instrumentación del tercio coronario, RaCe para la instrumentación convencional y S-Apex que es específico para la instrumentación apical en conductos curvos ya que su parte activa tiene una conicidad invertida (Fig. 7) (Stacchiotti, 2008).

Características instrumentos Pre RaCe (Fagundo, 2005)

- Longitud total: constante de 19 mm.
- Longitud parte activa: 9 mm.
- Conicidad:
 - .10 en ISO 40
 - .08 en ISO 35
 - .06 en ISO 30 y 40

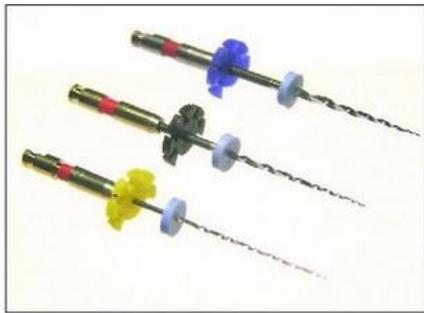


Taper SMD	Ø ISO										
	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
PRE-RaCe & SMD .10						●					
.08					●						
.06				●		●					

Fig. 4: Instrumentos Pre RaCe.

Características instrumentos RaCe (Fagundo, 2005)

- Longitud total: presentaciones de 21, 25, 28 y 31 mm.
- Longitud parte activa: 16 mm.
- Conicidad: .06 en ISO 10 al 40
.04 en ISO 10 al 40 y 50
.02 en ISO 15 al 60

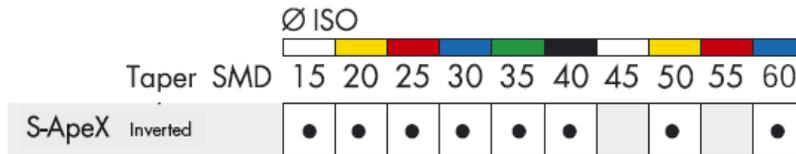


Taper SMD	RaCe & SMD	Ø ISO									
		15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
.06		•	•	•	•	•	•				
.04		•	•	•	•	•	•		•		
.02		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

Fig. 5: Instrumentos RaCe.

Características instrumentos S-Apex

- Longitud total: 21 y 25 mm.
- Longitud parte activa: 16 mm.
- Conicidad: invertida en ISO 15 al 40 y 50 y 60



Taper SMD	Ø ISO									
	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
S-Apex Inverted	•	•	•	•	•	•		•		•

Fig. 6: Instrumentos S-Apex.

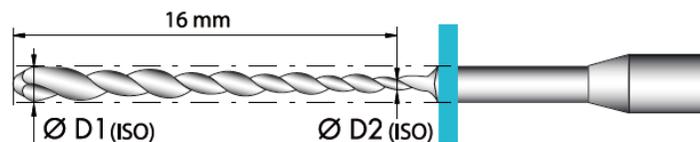


Fig. 7: Esquema instrumentos S-Apex.

La casa comercial propone 3 kits con una combinación de estas limas para instrumentar los canales conforme su dificultad de instrumentación (Fagundo, 2005):

Easy RaCe, para canales de dificultad simple y media.

- Cavity de acceso
- Preparar tercios medio y coronal con Pre-RaCe 40/.10 y 35/.08
- Conductometría
- Preparar hasta apical con RaCe 25/.06, luego 25/.04 y finalmente 25/.02

Xtreme RaCe, para canales difíciles.

- Cavity de acceso
- Preparar tercio coronal con Pre-RaCe 40/.10 y 35/.08
- Conductometría
- Consejo: puede preparar un tope apical con S-Apex
- Preparar tercios medio y apical con RaCe 15/.02, 20/.02 y 25/.02

Free Style RaCe, para secuencias personalizadas.

Easy RaCe



Xtreme RaCe



Free style RaCe



Fig. 8: kits RaCe.

Schäfer & Vlassis (2004 a y b) concluyeron que el uso de instrumentos RaCe produjo significativamente menos transportación del canal que los instrumentos ProTaper en canales simulados en bloques de resina (Schafer & Vlassis, 2004a), y que los instrumentos RaCe mantuvieron mejor la curvatura del canal que los instrumentos ProTaper durante la preparación de canales radiculares curvos de molares humanos extraídos (Schafer & Vlassis, 2004b).

Yoshimire Y. y Akamine A., indicaron que los instrumentos RaCe no mostraron indicios de transportación apical y que causaron un menor ensanchamiento de los canales comparado con ProTaper. Además, ProTaper

mostró una tendencia a conformar escalones y deformación del foramen apical. Concluyeron que para la preparación apical de canales con curvaturas complejas deben utilizarse sistemas de limas de Níquel-Titanio más flexibles y de menor conicidad como K3 y RaCe (Yoshimine, Ono, & Akamine, 2005).

Javaheri H.H. y Javaheri G.H. (2007) reportaron que los sistemas Hero 642 y RaCe no mostraron indicios de transportación apical. Además, que se pueden utilizar las limas RaCe con conicidad al 6% para la preparación apical sin crear aberraciones severas, cuando se utilizan limas de menor conicidad antes de ellas. Concluyendo que deben utilizarse sistemas de limas de NiTi más flexibles y de menor conicidad, como RaCe, en la conformación de canales con curvaturas severas, especialmente durante la preparación del tercio apical (Javaheri & Javaheri, 2007).

Sistema de instrumentación rotatoria WaveOne

En el último tiempo se ha descrito en la literatura una técnica para la instrumentación del canal radicular utilizando un único instrumento rotatorio, pero con un movimiento de rotación recíprocante, es decir, con giros alternados en sentido horario y antihorario (Yared, 2008). Sus ventajas serían reducir el número de instrumentos y un menor costo, sugiriendo la posibilidad de dar un solo uso a los instrumentos endodónticos, reduciendo la fatiga del instrumento y la posibilidad de fracturarse, y eliminando la posibilidad de contaminación cruzada (Yared, 2008), dando el pie para el diseño de nuevos instrumentos desechables y que requieran el uso de una única lima por canal.

Recientemente, a fines de 2011, se han introducido al mercado las nuevas limas NiTi WaveOne de Dentsply Maillefer (Ballaigues, Suiza). Un sistema de limas recíprocantes que son de un solo uso y una única lima para conformar completamente el canal radicular. En la mayoría de los casos, según el fabricante, la técnica solo requiere una lima manual seguida de una única lima WaveOne para la conformación del canal (Weber J., 2011).

Las limas WaveOne trabajan de forma similar a la técnica de fuerzas balanceadas (Roane, Sabala, & Duncanson, 1985), pero en sentido contrario, mediante un motor programado para girar las limas en forma alterna de marcha a contramarcha (Weber J., 2011). Las limas están fabricadas de la aleación MWire™ de NiTi (Dentsply Tulsa Dental, Tulsa, Oklahoma, EE.UU), mejorando la fuerza y resistencia a la fatiga cíclica prácticamente hasta cuatro veces comparadas con otras aleaciones de NiTi (Johnson, Lloyd, Kuttler, & Namerow, 2008).

El sistema de giro alterno de lima única WaveOne se compone de 3 limas disponibles en longitudes de 21mm., 25mm. y 31mm. :

1. WaveOne™ Pequeña (Small) se usa en canales finos. El tamaño de la punta es ISO 21 con una conicidad continua del 6%.

2. WaveOne™ Primaria (Primary) se usa en la mayoría de canales. El tamaño de la punta es ISO 25 con una conicidad apical del 8% que disminuye hacia la parte coronal.
3. WaveOne™ Grande (Large) se usa en canales grandes. El tamaño de la punta es ISO 40 y la conicidad apical es del 8% que disminuye hacia la parte coronal.



Fig. 9: WaveOne Small (amarilla), Primary (roja) y Large (negra)

Todos los instrumentos tienen una sección triangular convexa modificada en la parte final de la punta (Fig. 10) y una sección triangular convexa en la parte final coronal (Fig. 11). Este diseño mejora la flexibilidad global del instrumento. Las puntas están modificadas para seguir de manera exacta la curva del canal (acción guía).



Fig. 10: WaveOne, Sección transversal apical



Fig. 11: WaveOne, Sección transversal coronal

La distancia (pitch) variable entre los bordes cortantes a lo largo del

instrumento mejora considerablemente la seguridad (Fig. 12).

Los instrumentos WaveOne tienen un diseño de espiral en sentido antihorario, inverso al sentido del resto de los instrumentos rotatorios. El movimiento en sentido antihorario es mayor que el movimiento en sentido horario y hace avanzar al instrumento enganchándolo y cortando dentina, el movimiento en sentido horario desengancha el instrumento de la dentina antes de que se pueda bloquear en el canal, tres ciclos de giro alterno completan una rotación antihoraria y el instrumento avanza gradualmente dentro del canal aplicando una pequeña presión apical. Debido a esto, sólo pueden utilizarse con el motor WaveOne en su función de giro alterno (Fig. 13) (Weber J., 2011).



Fig. 12: Distancia variable entre espiras.



Fig. 13: Motor WaveOne.

Estos movimientos alternados podrían reducir la incidencia de fractura por torsión (Yared, 2008), la fatiga cíclica y la extrusión de desechos al periápice (Varela-Patino et al., 2010).

Algunos estudios recomiendan la realización de una “guía de deslizamiento” en el canal, con instrumentos de menor diámetro y conicidad, previo a la instrumentación con WaveOne ya que reduce significativamente las modificaciones de la anatomía del canal en canales curvos simulados (Berutti, Paolino, et al., 2012).

Al comparar el sistema reciprocante de lima única WaveOne con el sistema rotatorio ProTaper, se ha demostrado que WaveOne mantiene mejor la anatomía y curvatura del canal (Berutti, Chiandussi, et al., 2012).

Tomografía Computarizada Cone Beam y Transportación del canal

Se han desarrollado varias herramientas para evaluar en forma no invasiva el sistema de canales radiculares. Una de ellas es la Tomografía Computarizada (TC) Médica, cuya resolución no permite un mapeo preciso del canal radicular. A fines de 1990 se desarrolló un nuevo scanner tomográfico conocido como Tomografía Computarizada Cone Beam (TCCB) o Tomografía de Volumen Digital (TVD), específicamente para el uso maxilofacial y dental. La Tomografía Computarizada Cone Beam difiere de la Tomografía Computarizada Médica, en que todo el volumen tridimensional de datos es adquirido en el curso de un solo barrido del escáner, usando una relación simple y directa entre sensor y fuente. El haz de rayos X tiene forma de cono (de ahí el nombre de la técnica), y captura un volumen de datos cilíndrico o esférico, pudiendo escanear grandes o pequeños volúmenes, dependiendo del equipo (Patel et al., 2007).

Diversas metodologías han sido utilizadas para evaluar la transportación del canal, los que incluyen: cortes seriados (Bramante et al., 1987), cubo de Kuttler (Kuttler et al., 2001), análisis radiográficos (Esposito & Cunningham, 1995) y uso de microscopio electrónico (Jardine & Gulabivala, 2000; Schafer & Vlassis, 2004b). Sin embargo, todos ellos presentan ciertas limitaciones tales como: procedimiento engorroso, poca exactitud, naturaleza invasiva y no revelan lo que ocurre a nivel del tope apical. Una de las más recientes es la Tomografía Computarizada Cone Beam, herramienta que según la evidencia publicada permite la visualización del canal antes, durante y después de la preparación biomecánica, entregando una reproducción del diente en tres dimensiones (Pasternak-Junior et al., 2009).

HIPÓTESIS DE TRABAJO

La instrumentación de canales radiculares utilizando el sistema de instrumentación mecanizada recíproca Wave One produce mayor transportación del tercio medio y apical del canal radicular que el sistema rotatorio RaCe.

OBJETIVOS

Objetivo General:

Analizar y comparar el grado de transportación del tercio medio y apical del canal radicular de molares con curvaturas entre 25° y 35°, al utilizar los sistemas de instrumentación recíproca WaveOne y rotatoria RaCe, mediante la observación de cortes transversales de canales radiculares obtenidos mediante tomografía computarizada cone beam antes y después de la instrumentación.

Objetivos Específicos:

- i) Determinar el desgaste en mm de las paredes proximal, furcal, vestibular y palatina/lingual del canal radicular en canales curvos instrumentados con sistema WaveOne.
- ii) Comparar la diferencia de desgaste de las paredes del canal en sentido mesio-distal, en sentido vestíbulo-palatino/lingual y entre las cuatro paredes entre sí, de los canales curvos instrumentados con sistema WaveOne.
- iii) Determinar el desgaste en mm de las paredes proximal, furcal, vestibular y palatina/lingual del canal radicular en canales curvos instrumentados con sistema RaCe.
- iv) Comparar la diferencia de desgaste de las paredes del canal en sentido mesio-distal, en sentido vestíbulo-palatino/lingual y entre las cuatro paredes entre sí, de los canales curvos instrumentados con sistema RaCe.
- v) Comparar el grado de transportación postinstrumentación del tercio medio y apical de los canales instrumentados al utilizar el sistema recíproca WaveOne vs. el sistema rotatorio RaCe.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este estudio experimental in vitro se comparó la transportación del canal radicular de dos sistemas de instrumentación rotatoria.

Definición operacional: Es supuesto teórico la presencia de desgaste de las paredes del canal radicular al realizar cualquier técnica de instrumentación. Se definió transportación del canal radicular como el cambio en la ubicación espacial de éste con respecto a su posición original, debido a un desgaste no proporcional de sus paredes. Se estableció la presencia de transportación cuando el desgaste de las paredes proximal y furcal, o vestibular y palatino/lingual, sea asimétrico, es decir, cuando haya diferencia estadísticamente significativa entre el desgaste de dichas paredes. Se comparó el grado de transportación, en mm, de ambos sistemas de instrumentación utilizados.

Variables

Variable Independiente: Técnica de instrumentación utilizada

Variable dependiente: Desgaste dentinario del canal radicular

Selección de la muestra

La muestra consistió en 50 canales radiculares de molares humanos con los siguientes criterios de inclusión:

- a) Canales radiculares vestibulares (mesiales y distales) de primeros o segundos molares superiores y mesiales de primeros o segundos molares inferiores.
- b) Curvaturas radiculares entre 25 y 35 grados (severas), de acuerdo al coeficiente de curvatura de S. W. Schneider (Schneider, 1971), para estandarizar la muestra con respecto a esta variable.
- c) Canales radiculares con formación radicular completa

Los criterios de exclusión fueron:

- a) Molares con raíces fusionadas
- b) Molares sin cierre apical y/o con formación radicular incompleta
- c) Molares con caries radicular
- d) Molares con fractura radicular
- e) Molares con canales radiculares calcificados y/o atrésicos
- f) Molares con tratamiento endodóntico previo

A los molares pre-seleccionados mediante inspección morfológica, se les tomó una radiografía periapical para verificar la permeabilidad y la curvatura de los conductos según criterio de inclusión (fig. 14).



Fig. 14: Radiografía periapical para definir el grado de curvatura radicular.

Preparación de la muestra

Los molares extraídos fueron mantenidos en una solución de Formalina Buffer al 10% hasta su proceso de desinfección y conservación donde se realizaron las siguientes etapas:

- Se hirvieron en un recipiente tapado durante 30 minutos en agua corriente (50%) y hipoclorito de sodio (50%)
- Luego se lavaron con un cepillo y detergente para eliminar los restos de tejido adheridos
- Se enjuagaron y secaron con papel absorbente
- Se conservaron en una solución hidratante compuesta de agua oxigenada de 10 volúmenes (50%) y glicerina (50%) hasta el momento de ser utilizados.

- Se realizó la cavidad de acceso en los molares utilizando fresas de alta y baja velocidad con abundante irrigación.

Evaluación imageneológica

Para estandarizar la toma del cone beam se realizó una llave de silicona pesada donde se montaron los molares, conformando un molde que permitió la toma imageneológica preoperatoria y postoperatoria en la misma angulación y sentido de la curvatura del molar (fig. 15).

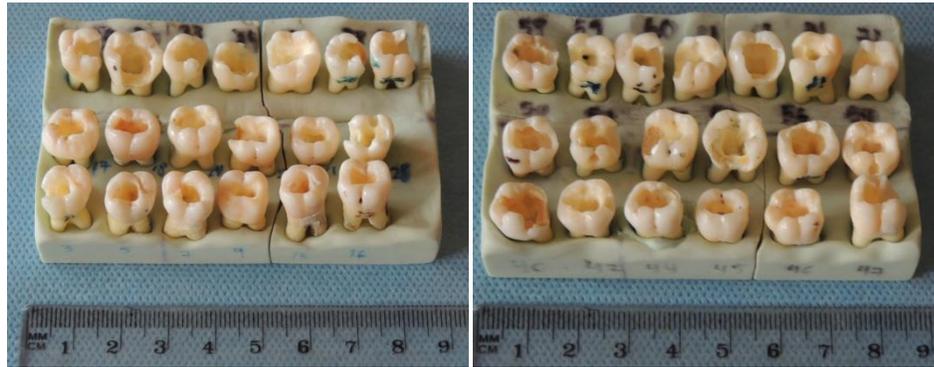


Fig. 15: Molares montados en llave de silicona para la toma de las imágenes pre y post instrumentación.

El equipo que se utilizó para escanear la muestra fue el disponible en el servicio de Radiología Dental y Maxilofacial de la Clínica Odontológica de la Facultad de Odontología de la Universidad de Chile: Planmeca ProMax 3D, (Planmeca Oy, Helsinki, Finlandia).

Las imágenes fueron almacenadas para su análisis y comparación con las imágenes obtenidas post-instrumentación.

Procedimiento de Instrumentación

La muestra se dividió en 2 grupos de estudio de 25 canales radiculares, seleccionados al azar:

Grupo n°1: Instrumentación mecanizada con sistema reciprocante WaveOne

Grupo n°2: Instrumentación mecanizada con sistema rotatorio RaCe

Luego, se buscó la longitud del canal utilizando una lima K N°10 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suiza) Esta se introdujo en cada canal hasta llegar a ras del foramen apical y se midió la distancia, determinando la Longitud Real del canal (LR).

La Longitud de Trabajo (LT) se determinó posteriormente a la instrumentación de los tercios coronal y medio de acuerdo a las indicaciones de cada fabricante, introduciendo una lima K N°10 en el canal hasta llegar a ras del foramen apical, se midió la distancia y se restó 1 mm. Algunas investigaciones han determinado que se produce una alteración significativa de la longitud del canal posterior a la instrumentación del tercio coronal y medio, por lo que se recomienda determinar la LT posterior a este paso, y previo a la instrumentación del tercio apical (Berutti et al., 2011; Davis, Marshall, & Baumgartner, 2002).

Durante el procedimiento de instrumentación se irrigaron los canales con 1ml de hipoclorito de sodio al 5,25% antes y después de cada instrumento, utilizando una jeringa de irrigación con la punta de la aguja a 4mm de la longitud de trabajo, con apoyo en una de las paredes del canal quedando holgada dentro de éste.

La instrumentación mecanizada fue realizada por un solo operador, según las indicaciones de cada fabricante para canales con curvaturas moderadas a severas. Los instrumentos fueron utilizados realizando movimientos corono apicales y se utilizó una lima WaveOne Primary para cada canal en el grupo n°1 y un set de limas Xtreme RaCe por cada 5 canales en el grupo n°2.

Se utilizó el motor WaveOne con pieza de mano reductora 6:1 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suiza), en su programa de giro alterno WaveOne para la instrumentación con sistema WaveOne, y programado con una velocidad de 300 rpm y un torque de 2 Ncm para la instrumentación con el sistema RaCe.

Grupos Experimentales

Grupo n°1: Instrumentación mecanizada con sistema reciprocante WaveOne.

Se instrumentaron los canales con limas WaveOne Primary, de acuerdo a las indicaciones del fabricante. Las limas WaveOne se deben utilizar con un movimiento coronoapical no más de 3-4 veces en el canal, ejerciendo una ligera presión hacia apical.

Secuencia de trabajo utilizada:

1. Se instrumentó con la lima WaveOne Primary los 2/3 coronales del canal (2/3 de la LR).
2. Se determinó la LT con una lima manual K N°10.
3. Se instrumentó con la lima WaveOne Primary hasta LT.(Diámetro apical 25)

Grupo n°2: Instrumentación mecanizada con sistema rotatorio RaCe.

Se instrumentaron los canales con la secuencia de instrumentos XtremeRaCe, para canales de elevada complejidad.

Secuencia de trabajo utilizada:

1. Lima RaCe PreRace N°40 y conicidad 10% a -5mm de LR
2. Lima RaCe PreRace N°35 y conicidad 8% a -5mm de LR
3. Determinación de la LT con una lima manual K N°10
4. Lima RaCe N°15 y conicidad 2% a LT
5. Lima RaCe N°20 y conicidad 2% a LT
6. Lima RaCe N°25 y conicidad 2% a LT

Durante el procedimiento de instrumentación no se fracturó ni deformó ningún instrumento.

Una vez finalizada la instrumentación de los canales, se tomó una nueva imagen con Tomografía Computarizada Cone Beam bajo las mismas condiciones pre-instrumentación.

Análisis de la preparación del canal

Las imágenes obtenidas pre y post instrumentación fueron digitalizadas y almacenadas para su análisis, el cual se realizó mediante el software PLANMECA Romexis Viewer (Planmeca Oy, Helsinki, Finlandia).

Se asignó una numeración arbitraria desde el 1 hasta el 50 para evitar sesgo en la muestra.

Por cada canal radicular se analizaron cuatro imágenes de cortes transversales del diente a distintos niveles (a los 2, 4, 6 y 8 mm medidos desde el foramen apical) pre-instrumentación y otras cuatro post-instrumentación a los mismos niveles. Se midió el grosor de las paredes del canal hacia proximal, hacia la furca, hacia vestibular y hacia palatino/lingual.

Se hizo un test de calibración intraoperador para medidas repetidas, para establecer la confiabilidad de las mediciones. Este consistió en hacer medidas en una raíz elegida al azar, la que se midió de la misma forma y con el mismo sistema computacional, dos veces al día durante cinco días. Una vez obtenidos los valores se aplicó el test estadístico ANOVA para medidas repetidas.

Para evaluar la transportación del canal en cada grupo, se comparó la diferencia de desgaste (grosor pre-instrumentación – grosor post-instrumentación) entre las paredes del canal: proximal vs. furcal, vestibular vs. palatina/lingual y entre las cuatro paredes entre sí.

Para comparar el grado de transportación del canal entre ambos grupos se utilizó la técnica propuesta por Gambill et al. (Gambill, Alder, & del Rio, 1996) modificada, que mide la transportación del canal en sentido mesiodistal y vestibulo-palatina/lingual.

Dirección mesiodistal: (CP1-CP2)-(CF1-CF2)

Dirección vestibulo-palatina/lingual: (V1-V2)-(PL1-PL2)

Donde,

CP1= distancia más corta desde el borde de la cara proximal de la raíz al borde de la cara proximal del canal no instrumentado

CP2= distancia más corta desde el borde de la cara proximal de la raíz al borde de la cara proximal del canal instrumentado

CF1= distancia más corta del borde de la cara furcal de la raíz al borde de la cara furcal del canal no instrumentado

CF2= distancia más corta del borde de la cara furcal de la raíz al borde de la cara furcal del canal instrumentado.

V1= distancia más corta desde el borde vestibular de la raíz al borde vestibular del canal no instrumentado

V2= distancia más corta desde el borde vestibular de la raíz al borde vestibular del canal instrumentado

PL1= distancia más corta desde el borde palatino/lingual de la raíz al borde palatino/lingual del canal no instrumentado

PL2= distancia más corta desde el borde palatino/lingual de la raíz al borde palatino/lingual del canal instrumentado

De acuerdo a esta fórmula se determinó la presencia o ausencia de transportación y la dirección de ésta. Un resultado cero (0) indica la ausencia de transportación, mientras que uno negativo indica transportación hacia la porción furcal o palatino/lingual y uno positivo hacia la porción proximal o vestibular.

Análisis estadístico de datos

Los datos obtenidos fueron tabulados en el programa Microsoft Office Excel 2007.

La variable desgaste de las paredes del conducto mostró una distribución no normal al ser analizada mediante el test de Shapiro-Wilk, por lo que se aplicaron tests estadísticos no paramétricos. Al contrario, la variable grado de transportación del canal mostró una distribución normal por lo que se aplicaron tests paramétricos.

El análisis estadístico de los datos se realizó mediante:

- Test de Wilcoxon para muestras pareadas para la comparación de desgaste entre las paredes proximal vs. furcal y vestibular vs. palatina/lingual por cada sistema de instrumentación.
- Test de Kruskal-Wallis para la comparación del desgaste de todas las paredes entre si, por sistema de instrumentación.
- T-test para muestras independientes para la comparación del grado de transportación del canal entre los dos sistemas de instrumentación.

Se consideró diferencia estadísticamente significativa cuando el valor de $p \leq 0,05$.

RESULTADOS

El análisis estadístico de las mediciones de calibración intraoperador, realizado mediante el test ANOVA para medidas repetidas, indica que no hay diferencias significativas en las mediciones en ningún nivel de observación:

- A los 2 mm $p= 0,18$
- A los 4 mm $p= 0,42$
- A los 6 mm $p= 0,18$
- A los 8 mm $p= 0,17$

La tabla 1 muestra la diferencia de desgaste de las paredes de los canales instrumentados con el sistema WaveOne en los 4 niveles de observación estudiados (2, 4, 6 y 8 mm desde el ápice).

	WaveOne: Desgaste de las paredes del canal (mm)			
	Pared proximal (mm \pm DE; n = 25)	Pared furcal (mm \pm DE; n = 25)	Pared vestibular (mm \pm DE; n = 25)	Pared palatina/lingual (mm \pm DE; n = 25)
2 mm	0,084 \pm 0,1230	0,084 \pm 0,1067	0,078 \pm 0,1627	0,09 \pm 0,1145
4 mm	0,096 \pm 0,105	0,078 \pm 0,1071	0,12 \pm 0,1436	0,114 \pm 0,1168
6 mm	0,108 \pm 0,1187 *,#	0,21 \pm 0,1369 *,#	0,114 \pm 0,1245 #	0,096 \pm 0,0956 #
8 mm	0,156 \pm 0,1184 *,#	0,27 \pm 0,0866 *,#	0,15 \pm 0,1677 #	0,138 \pm 0,1430 #

Tabla 1: Diferencia de desgaste de las paredes de los canales instrumentados con sistema WaveOne. *Wilcoxon $p=0,00$; #Kruskal-Wallis $p\leq 0,01$

Se observa la presencia de transportación del canal en sentido mesiodistal a los 6 y 8 mm desde el ápice, con un valor de $p=0,00$; desplazando el canal hacia la zona furcal. Al correlacionar el desgaste de las 4 paredes entre sí, se observa un desgaste no homogéneo a los 6 y 8 mm, con el mayor desgaste sobre la pared furcal.

La tabla 2 muestra la diferencia de desgaste de las paredes de los canales instrumentados con el sistema RaCe en los 4 niveles de observación estudiados (2, 4, 6 y 8 mm desde el ápice).

	RaCe: Desgaste de las paredes del canal (mm)			
	Pared proximal (mm ± DE; n = 25)	Pared furcal (mm ± DE; n = 25)	Pared vestibular (mm ± DE; n = 25)	Pared palatina/lingual (mm ± DE; n = 25)
2 mm	0,06±0,0866	0,048±0,0835	0,084±0,1067	0,084±0,1304
4 mm	0,072±0,0764	0,078±0,0878	0,114±0,1245	0,144±0,1401
6 mm	0,084±0,0975 **	0,156±0,1102 **	0,126±0,1347	0,132±0,1249
8 mm	0,108±0,0920 *	0,18±0,1224 *	0,126±0,1347	0,168±0,1456

Tabla 2: Diferencia de desgaste de las paredes de los canales instrumentados con sistema RaCe. * Wilcoxon $p=0,00$ ** Wilcoxon $p<0,05$

Se observa la presencia de transportación del canal en sentido mesiodistal a los 6 ($p=0,03$) y 8 mm ($p=0,00$) desde el ápice, desplazando el canal hacia la zona furcal. Al correlacionar el desgaste de las cuatro paredes, no se encontraron diferencias significativas.

La comparación del grado de transportación del canal entre ambos grupos mediante T-test no arrojó diferencias significativas, tanto en sentido mesio-distal (tabla 3) como en sentido vestibulo-palatino/lingual (tabla4), en ninguno de los niveles estudiados.

	Grado de Transportación mesio-distal	
	WaveOne (mm ± DE; n = 25)	RaCe (mm ± DE; n = 25)
2 mm	0±0,156125	0,012±0,1218606
4 mm	0,018±0,1088577	-0,006±0,1184272
6 mm	-0,102±0,1661325	-0,072±0,1507481
8 mm	-0,114±0,1517399	-0,072±0,1233896

Tabla 3: Grado de transportación del canal en sentido mesio-distal, a los 2, 4, 6 y 8 mm con WaveOne y RaCe. $p\geq 0,14$

	Grado de Transportación vestibulo-palatino/lingual	
	WaveOne (mm ± DE; n = 25)	RaCe (mm ± DE; n = 25)
2 mm	-0,012±0,198053	0±0,156125
4 mm	0,006±0,110227	-0,03±0,1785357
6 mm	0,018±0,1853375	-0,006±0,1647726
8 mm	0,012±0,2073041	-0,042±0,1592168

Tabla 4: Grado de transportación del canal en sentido vestibulo-palatino/lingual, a los 2, 4, 6 y 8 mm con WaveOne y RaCe. $p \geq 0,15$

DISCUSIÓN

El objetivo de este estudio fue caracterizar y comparar, a través de tomografía computarizada cone beam, el grado de transportación del tercio medio y apical de canales radiculares de molares definitivos humanos con curvaturas radiculares severas instrumentados con el sistema reciprocante WaveOne o el sistema rotatorio RaCe, ambos de NiTi.

Se encontró que ambos sistemas produjeron transportación del canal en el tercio medio en sentido mesio-distal, desplazando el canal hacia la zona furcal, la cual se considera una zona de peligro de perforación, por presentar paredes delgadas de dentina (Kessler, Peters, & Lorton, 1983). Además, la instrumentación con WaveOne causó un desgaste no homogéneo de las cuatro paredes del canal a este mismo nivel, no así el sistema RaCe (tablas 1 y 2). Esto puede atribuirse a la mayor conicidad de los instrumentos WaveOne Primary, de 8%, lo que determinaría un mayor desgaste de las paredes del canal y menor flexibilidad para adaptarse a la curvatura del canal que los instrumentos RaCe con conicidad al 2%.

A pesar de que la instrumentación con ambos sistemas produjo transportación del tercio medio del canal hacia la zona furcal, sin diferencias significativas en el grado de transportación, el desgaste con el sistema WaveOne es mayor y no homogéneo, provocando más alteración de la geometría natural del canal comparado al sistema RaCe. No existen antecedentes en la literatura comparando la transportación del canal entre ambos sistemas de instrumentación.

Los resultados obtenidos pueden haber estado influenciados principalmente por dos factores: Tamaño muestral pequeño y resolución limitada de las imágenes del canal obtenidas con tomografía computarizada cone beam.

Particularmente, el equipo utilizado en este estudio permite producir imágenes de pequeñas áreas de interés, con el menor campo visual posible, siendo un cilindro de 50mm de alto por 30mm de diámetro. Quizás el aspecto más importante, y clínicamente útil de los escáneres de TCCB es su software altamente sofisticado que permite que el volumen completo de datos sea descompuesto y procesado o reconstruido en un formato que se asemeja

estrechamente al producido por los escáneres de TC médica. Los datos son reconstruidos para formar pequeños voxels (píxeles tridimensionales) cúbicos isotrópicos (ej. de $125\mu\text{m}$) (Patel et al., 2007).

Precisamente por este factor, es posible que no se hayan detectado diferencias significativas en el desgaste, y por ende transportación del canal, principalmente a los 2 y 4 mm de medición, es decir, en el tercio apical del canal, ya que la resolución del equipo se limita a voxels cúbicos de $150\mu\text{m}$ (0,15 mm). Por lo tanto el diámetro apical de la preparación, de un diámetro de 0.25 mm para ambos sistemas, ocuparía aproximadamente 2 voxels. Como se trabajó con instrumentos de conicidad al 2% para RaCe, lo que significa que por cada mm que se aleja de la punta el diámetro del instrumento aumenta 0.02mm, y de conicidad al 8% para WaveOne, o sea el diámetro del instrumento aumenta 0.08mm por cada mm que se aleja de la punta; a los 2 mm del ápice tendríamos que el canal ha sido ensanchado a 0,27-0,33 mm dependiendo del sistema utilizado, equivalente a 2 voxels aproximadamente; y a los 4 mm habría sido ensanchado entre 0,31-0,5 mm dependiendo del sistema, ocupando aproximadamente 3 voxels, haciendo difícil la determinación de las diferencias de desgaste entre las paredes del canal antes y después de la instrumentación.

La Microtomografía Computarizada (μTC) es una forma en miniatura de la Tomografía Computarizada convencional. Ha sido introducida para evaluar no sólo cortes de raíces dentarias, sino también formas tridimensionales de sistemas de canales radiculares a resoluciones isotrópicas tan altas como $36\mu\text{m}$ (Peters et al., 2000). Las limitaciones son la gran cantidad de tiempo que se requiere para los procesos de escaneo y reconstrucción de la imagen, que la reconstrucción requiere un alto grado de experticie computacional y que los equipos son caros (Rhodes, Ford, Lynch, Liepins, & Curtis, 1999). La técnica no es apta para el uso clínico, pero es una herramienta poderosa para la investigación de los efectos de las técnicas de instrumentación del canal radicular en la forma del canal (Rhodes et al., 1999). Además, los equipos disponibles en el país son de elevado costo y están destinados a fines médicos y no de investigación odontológica.

Queda la incógnita de que si se hubiera variado el método de obtención de las imágenes por Microtomografía Computarizada, los resultados hubiesen sido diferentes.

CONCLUSIONES

Dentro de los límites de este estudio, se puede concluir que:

- Ninguno de los sistemas testeados produjo transportación del canal en el tercio apical.
- Ambos sistemas, WaveOne y RaCe, producen transportación del tercio medio del canal en sentido mesio-distal, desplazándolo hacia la zona de la furca, sin diferencias significativas en el grado de transportación entre ellos.
- El sistema de instrumentación recíprocante WaveOne produce un desgaste mayor y no homogéneo de las paredes del canal en el tercio medio comparado al sistema rotatorio RaCe, adelgazando la pared furcal, la que se considera una zona de alto riesgo de perforación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Berutti, E., Chiandussi, G., Paolino, D. S., Scotti, N., Cantatore, G., Castellucci, A., & Pasqualini, D. (2011). Effect of canal length and curvature on working length alteration with WaveOne reciprocating files. *J Endod*, *37*(12), 1687-1690. doi: 10.1016/j.joen.2011.09.014
- Berutti, E., Chiandussi, G., Paolino, D. S., Scotti, N., Cantatore, G., Castellucci, A., & Pasqualini, D. (2012). Canal shaping with WaveOne Primary reciprocating files and ProTaper system: a comparative study. [Comparative Study Randomized Controlled Trial]. *J Endod*, *38*(4), 505-509. doi: 10.1016/j.joen.2011.12.040
- Berutti, E., Paolino, D. S., Chiandussi, G., Alovise, M., Cantatore, G., Castellucci, A., & Pasqualini, D. (2012). Root canal anatomy preservation of WaveOne reciprocating files with or without glide path. [Comparative Study]. *J Endod*, *38*(1), 101-104. doi: 10.1016/j.joen.2011.09.030
- Bramante, C. M., Berbert, A., & Borges, R. P. (1987). A methodology for evaluation of root canal instrumentation. *J Endod*, *13*(5), 243-245. doi: 10.1016/S0099-2399(87)80099-7
- Civjan, S., Huget, E. F., & DeSimon, L. B. (1975). Potential applications of certain nickel-titanium (nitinol) alloys. *J Dent Res*, *54*(1), 89-96.
- Chen, J. L., & Messer, H. H. (2002). A comparison of stainless steel hand and rotary nickel-titanium instrumentation using a silicone impression technique. [Comparative Study Evaluation Studies Research Support, Non-U.S. Gov't]. *Aust Dent J*, *47*(1), 12-20.
- Davis, R. D., Marshall, J. G., & Baumgartner, J. C. (2002). Effect of early coronal flaring on working length change in curved canals using rotary nickel-titanium versus stainless steel instruments. [Comparative Study]. *J Endod*, *28*(6), 438-442.
- Esposito, P. T., & Cunningham, C. J. (1995). A comparison of canal preparation with nickel-titanium and stainless steel instruments. [Comparative Study Research Support, Non-U.S. Gov't]. *J Endod*, *21*(4), 173-176. doi: 10.1016/S0099-2399(06)80560-1
- Fagundo, C. (2005). Limas RaCe: Secuencia clínica. *Rev Oper Dent Endod*, *5*, 24.

- Gambill, J. M., Alder, M., & del Rio, C. E. (1996). Comparison of nickel-titanium and stainless steel hand-file instrumentation using computed tomography. [Comparative Study]. *J Endod*, *22*(7), 369-375. doi: 10.1016/S0099-2399(96)80221-4
- Goldberg, F., & Araujo, J. A. (1997). Comparison of three instruments in the preparation of curved root canals. [Comparative Study In Vitro]. *Endod Dent Traumatol*, *13*(6), 265-268.
- Hartmann, M. S., Barletta, F. B., Camargo Fontanella, V. R., & Vanni, J. R. (2007). Canal transportation after root canal instrumentation: a comparative study with computed tomography. [Comparative Study]. *J Endod*, *33*(8), 962-965. doi: 10.1016/j.joen.2007.03.019
- Jardine, S. J., & Gulabivala, K. (2000). An in vitro comparison of canal preparation using two automated rotary nickel-titanium instrumentation techniques. [Comparative Study]. *Int Endod J*, *33*(4), 381-391.
- Javaheri, H. H., & Javaheri, G. H. (2007). A comparison of three Ni-Ti rotary instruments in apical transportation. [Comparative Study]. *J Endod*, *33*(3), 284-286. doi: 10.1016/j.joen.2006.05.004
- 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. [Comparative Study]. *J Endod*, *34*(11), 1406-1409. doi: 10.1016/j.joen.2008.07.029
- Kessler, J. R., Peters, D. D., & Lorton, L. (1983). Comparison of the relative risk of molar root perforations using various endodontic instrumentation techniques. [Comparative Study]. *J Endod*, *9*(10), 439-447. doi: 10.1016/S0099-2399(83)80260-X
- Kuttler, S., Garala, M., Perez, R., & Dorn, S. O. (2001). The endodontic cube: a system designed for evaluation of root canal anatomy and canal preparation. *J Endod*, *27*(8), 533-536. doi: 10.1097/00004770-200108000-00008

- Lang, H., Korkmaz, Y., Schneider, K., & Raab, W. H. (2006). Impact of endodontic treatments on the rigidity of the root. [Comparative Study In Vitro Research Support, Non-U.S. Gov't]. *J Dent Res*, *85*(4), 364-368.
- Leonardo, M. R., & De Toledo Leonardo, R. (2002). *Sistemas rotatorios en endodoncia: Instrumentos de níquel-titanio*: Artes Médicas.
- Park, S. Y., Cheung, G. S., Yum, J., Hur, B., Park, J. K., & Kim, H. C. (2010). Dynamic torsional resistance of nickel-titanium rotary instruments. [Comparative Study]. *J Endod*, *36*(7), 1200-1204. doi: 10.1016/j.joen.2010.02.016
- Pasternak-Junior, B., Sousa-Neto, M. D., & Silva, R. G. (2009). Canal transportation and centring ability of RaCe rotary instruments. [Comparative Study Evaluation Studies]. *Int Endod J*, *42*(6), 499-506. doi: 10.1111/j.1365-2591.2008.01536.x
- Patel, S., Dawood, A., Ford, T. P., & Whaites, E. (2007). The potential applications of cone beam computed tomography in the management of endodontic problems. [Review]. *Int Endod J*, *40*(10), 818-830. doi: 10.1111/j.1365-2591.2007.01299.x
- Peters, O. A., Laib, A., Gohring, T. N., & Barbakow, F. (2001). Changes in root canal geometry after preparation assessed by high-resolution computed tomography. [Comparative Study]. *J Endod*, *27*(1), 1-6. doi: 10.1097/00004770-200101000-00001
- Peters, O. A., Laib, A., Ruegsegger, P., & Barbakow, F. (2000). Three-dimensional analysis of root canal geometry by high-resolution computed tomography. [Research Support, Non-U.S. Gov't]. *J Dent Res*, *79*(6), 1405-1409.
- RaCe: Un nuevo sistema rotatorio. (2004). *Rev. Canal Abierto*, *10*, 2-3.
- Reeh, E. S., Messer, H. H., & Douglas, W. H. (1989). Reduction in tooth stiffness as a result of endodontic and restorative procedures. *J Endod*, *15*(11), 512-516. doi: 10.1016/S0099-2399(89)80191-8
- Rhodes, J. S., Ford, T. R., Lynch, J. A., Liepins, P. J., & Curtis, R. V. (1999). Micro-computed tomography: a new tool for experimental endodontology. [Comparative Study]. *Int Endod J*, *32*(3), 165-170.

- Roane, J. B., Sabala, C. L., & Duncanson, M. G., Jr. (1985). The "balanced force" concept for instrumentation of curved canals. *J Endod*, *11*(5), 203-211. doi: 10.1016/S0099-2399(85)80061-3
- Schafer, E., & Vlassis, M. (2004a). Comparative investigation of two rotary nickel-titanium instruments: ProTaper versus RaCe. Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. [Comparative Study Evaluation Studies]. *Int Endod J*, *37*(4), 229-238. doi: 10.1111/j.0143-2885.2004.00786.x
- Schafer, E., & Vlassis, M. (2004b). Comparative investigation of two rotary nickel-titanium instruments: ProTaper versus RaCe. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. [Comparative Study Evaluation Studies]. *Int Endod J*, *37*(4), 239-248. doi: 10.1111/j.0143-2885.2004.00783.x
- Schneider, S. W. (1971). A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, *32*(2), 271-275.
- Stacchiotti, Z. (2008). Primer molar superior preparado con instrumentación mecanizada: Sistema RaCe. *Rev. Canal Abierto*, *18*, 28-30.
- Torabinejad, M. (1990). Endodontic mishaps: etiology, prevention, and management. *Alpha Omegan*, *83*(4), 42-48.
- Varela-Patino, P., Ibanez-Parraga, A., Rivas-Mundina, B., Cantatore, G., Otero, X. L., & Martin-Biedma, B. (2010). Alternating versus continuous rotation: a comparative study of the effect on instrument life. [Comparative Study]. *J Endod*, *36*(1), 157-159. doi: 10.1016/j.joen.2009.09.023
- Walia, H. M., Brantley, W. A., & Gerstein, H. (1988). An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. *J Endod*, *14*(7), 346-351.
- Weber J., M. P., Pertot W., Kuttler S., Ruddle C., West J. (2011). The WaveOne single-file reciprocating system. *Roots*, *1*, 28-33.
- Wu, M. K., Fan, B., & Wesselink, P. R. (2000). Leakage along apical root fillings in curved root canals. Part I: effects of apical transportation on seal of root fillings. *J Endod*, *26*(4), 210-216. doi: 10.1097/00004770-200004000-00003

- Yared, G. (2008). Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. *Int Endod J*, 41(4), 339-344. doi: 10.1111/j.1365-2591.2007.01351.x
- Yoshimine, Y., Ono, M., & Akamine, A. (2005). The shaping effects of three nickel-titanium rotary instruments in simulated S-shaped canals. [Comparative Study]. *J Endod*, 31(5), 373-375.