

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE ODONTOLOGÍA TIJUANA
PROGRAMA DE ESPECIALIDAD EN ENDODONCIA



**"PRUEBA ESTÁTICA DE RESISTENCIA A LA FATIGA CÍCLICA DE 3
SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN DE NITI EN CANALES SIMULADOS:
WAVE ONE Y RECIPROC EN MOVIMIENTO RECIPROCANTE Y TF
ADAPTIVE EN MOVIMIENTO ADAPTATIVO"**

**TRABAJO TERMINAL PARA LA OBTENCIÓN DEL DIPLOMA DE
ESPECIALIDAD EN ENDODONCIA**

**PRESENTA
OSCAR OMAR HIGUERA ARAGÓN**

**PRESIDENTE
DRA. ANA GABRIELA CARRILLO VÁRGUEZ**

**SINODALES
M.O. MARÍA ELENA DE LOS ÁNGELES HOFMANN SALCEDO
C.D.E.E. JULIO CÉSAR GARCÍA BRIONES**

TIJUANA, BAJA CALIFORNIA

OCTUBRE 2015

Tijuana, Baja California, a Octubre de 2015

SUB-COMITÉ DE ESTUDIOS DE POSGRADO
DEL PROGRAMA DE ESPECIALIDAD EN ENDODONCIA

ASUNTO: Voto Aprobatorio

Habiendo fungido como Presidente de la tesis denominada: "PRUEBA ESTÁTICA DE RESISTENCIA A LA FATIGA CÍCLICA DE 3 SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN DE NITI EN CANALES SIMULADOS; WAVEONE Y RECIPROC EN MOVIMIENTO RECIPROCANTE Y TWISTED FILE ADAPTIVE EN MOVIMIENTO ADAPTATIVO".

Elaborada por el **C.D. OSCAR OMAR HIGUERA ARAGÓN** manifiesto a ustedes que reúne los requisitos académicos establecidos para ser considerada por el jurado de examen

ATENTAMENTE

DRA. ANA GABRIELA CARRILLO VÁRGUEZ

C.c.p. Archivo

Tijuana, Baja California, a Octubre de 2015

SUB-COMITÉ DE ESTUDIOS DE POSGRADO
DEL PROGRAMA DE ESPECIALIDAD EN ENDODONCIA

ASUNTO: Voto Aprobatorio

En mi calidad de sinodal de examen y habiendo revisado la tesis denominada: "PRUEBA ESTÁTICA DE RESISTENCIA A LA FATIGA CÍCLICA DE 3 SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN DE NITI EN CANALES SIMULADOS; WAVEONE Y RECIPROC EN MOVIMIENTO RECIPROCANTE Y TWISTED FILE ADAPTIVE EN MOVIMIENTO ADAPTATIVO".

Elaborada por el **C.D. OSCAR OMAR HIGUERA ARAGÓN**, me permito notificarle que reúne los requisitos académicos establecidos para ser considerada por el jurado de examen

ATENTAMENTE

C.D.E.E. JULIO CÉSAR GARCÍA BRIONES

C.c.p. Archivo

Tijuana, Baja California, a Octubre de 2015

SUB-COMITÉ DE ESTUDIOS DE POSGRADO
DEL PROGRAMA DE ESPECIALIDAD EN ENDODONCIA

ASUNTO: Voto Aprobatorio

En mi calidad de sinodal de examen y habiendo revisado la tesis denominada: "PRUEBA ESTÁTICA DE RESISTENCIA A LA FATIGA CÍCLICA DE 3 SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN DE NITI EN CANALES SIMULADOS; WAVEONE Y RECIPROC EN MOVIMIENTO RECIPROCANTE Y TWISTED FILE ADAPTIVE EN MOVIMIENTO ADAPTATIVO".

Elaborada por el **C.D. OSCAR OMAR HIGUERA ARAGÓN**, me permito notificarle que reúne los requisitos académicos establecidos para ser considerada por el jurado de examen

ATENTAMENTE

M.O. MARÍA ELENA DE LOS ÁNGELES HOFMANN SALCEDO

C.c.p. Archivo

ÍNDICE

CAPÍTULO	PÁGINA
1. Introducción	1
2. Problema	3
2.1. Planteamiento del problema	4
3. Justificación	5
4. Antecedentes	6
5. Marco teórico	23
5.1. Historia	23
5.2. Preparación mecánica rotatoria	23
5.3. Níquel-Titanio	25
5.4. Fatiga cíclica	27
5.5. Fractura por torsión	27
5.6. Factores predisponentes a la fractura del instrumento	28
5.6.1. Diseño del instrumento	28
5.6.2. Dinámica del uso de los instrumentos	28
5.7. Movimiento recíprocante	29
5.8. Movimiento adaptativo	30
5.9. Sistemas rotatorios para la preparación del conducto radicular	30
5.9.1. Características generales	31
5.9.1.1. WaveOne	31
5.9.1.2. Reciproc	39
5.9.1.3. Twisted File Adaptive	46
6. Hipótesis	50
6.1. Hipótesis nula	50
6.2. Hipótesis 1	50
6.3. Hipótesis 2	50
6.4. Hipótesis 3	50
7. Objetivo	51

7.1. Objetivo general	51
7.2. Objetivo específico	51
8. Tipo de estudio	52
9. Variables	52
9.1. Manejo de la variable	52
10. Universo de estudio	52
11. Criterios de intrusión	52
12. Criterios de exclusión	53
13. Materiales y métodos	54
13.1. Muestras	54
13.2. Material	54
13.3. Metodología	55
13.3.1. Prueba de fatiga cíclica	61
13.3.2. Prueba estática	62
14. Resultados y análisis estadístico	67
15. Discusión	76
16. Conclusiones	78
17. Agradecimientos	79
18. Referencias bibliográficas	82

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente estudio fue el de evaluar la resistencia a la prueba estática de fatiga cíclica de 3 sistemas de instrumentación de NiTi en canales simulados; WaveOne y Reciproc en movimiento recíprocante, y Twisted File Adaptive en movimiento adaptativo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron 18 instrumentos de NiTi bajo movimiento recíprocante (Reciproc y WaveOne) y movimiento adaptativo (Twisted File Adaptive). Se eligieron 3 casas comerciales: Reciproc R25 (VDW), WaveOne Primary (Dentsply) y TFA M-L 1 (SybronEndo). Todos con ISO de 0.25 en D0. WaveOne y Reciproc con una conicidad de 0,08 en los primeros 3 mm apicales, y TFA con una conicidad de 0,08. Para estandarización y confiabilidad del experimento, los instrumentos a experimentar fueron previamente ultrasonificados para eliminar impurezas y posteriormente fueron examinados para defectos o deformidades de manufacturación bajo microscopio electrónico (Global) y SEM (EDAX, University of Riverside).

Prueba de Fatiga Cíclica

Los instrumentos se distribuyeron en 3 grupos experimentales (n = 6). Se realizó la prueba estática con el uso de un aparato realizado a la medida. Para esta prueba, se fabricó un bloque de acero inoxidable, donde se encontraban los conductos simulados.

El canal simulado se realizó con un ángulo de curvatura de 60° y 5mm de radio de curvatura.

Prueba Estática

Seis instrumentos de cada sistema de instrumentación se activaron utilizando un contrángulo de reducción 6:1 (Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim, Alemania) accionado por un motor de torque controlado Silver RECIPROC (VDW, Munich, Alemania) utilizando las configuraciones preestablecidas para cada uno ("RECIPROC ALL" para Reciproc y "WAVEONE ALL" para WaveOne, de 300 rpm y 350 rpm); se utilizó un contrángulo de reducción 8:1 accionado por un motor de torque controlado Elements Motor (SybronEndo, Orange, CA, USA) utilizando las configuraciones preestablecidas (TF-ADAPTIVE) para los instrumentos TFA (400rpm).

Todos los instrumentos se activaron siguiendo las instrucciones del fabricante hasta que ocurrió la fractura. Se realizó un aparato metálico con una base cuadrangular y un eje vertical el cual contenía una estructura metálica que permitía la fijación y el movimiento del contrángulo de reducción del micromotor; se colocó una tapa de acrílico para observar los instrumentos en el canal y detener los fragmentos fracturados.

Los instrumentos se rotaron libremente en el canal simulado, el cual fue rociado por aceite sintético (Midwest Plus) para reducir la fricción y producción de calor. Cada instrumento se posicionó en un contrángulo reductor y se

introdujo en el canal a una longitud de 18mm la cual se aseguró ajustando una llave en la porción superior del artefacto, y se reiteró con la colocación de tope en el instrumento rotatorio. El tiempo se grabó con ayuda de un cronómetro y se paró en cuanto se detectó la fractura visualmente y mediante audición. Para evitar error humano, se realizó una grabación en video de manera simultánea, y las grabaciones se observaron posteriormente para asegurar que los tiempos concordaran con el momento de la separación de la lima.

Estadísticas

El análisis estadístico se realizó con el programa SPSS en la Universidad Autónoma de Baja California.

Resultados

El resultado de este estudio mostró que la resistencia estática a la fatiga cíclica de Reciproc R25 y TFA M-L 1 fue significativamente mayor que WaveOne Primary ($P > .$).

El resultado arrojó también que TFA M-L 1 fue más resistente que Reciproc R25 ($P > .$).

La inspección de la porción fracturada bajo el SEM indicó que todos los instrumentos mostraron características morfológicas de fractura dúctil.

Discusión

Este estudio comparó la resistencia a la fatiga cíclica estática de WaveOne Primary, Reciproc R25 en movimiento recíprocante y Twisted File Adaptive M-L 1 en movimiento adaptativo.

En este estudio se decidió investigar la fatiga cíclica en prueba estática debido que aunque un modelo dinámico puede aproximarse bastante al movimiento de cepillado o de picoteo, tiene limitaciones porque los instrumentos que son probados no tienen la constrictión en una trayectoria precisa. Por otra parte, la amplitud y velocidad del movimiento axial pueden estandarizarse en un modelo de estudio dinámico, pero estas variables son completamente subjetivas, y es dudable que sean constante y reproducibles en la práctica clínica debido a que el movimiento de entrada y salida es controlado manualmente.

Bajo el presente experimento, no hubo diferencia significativa entre Reciproc y TFA, sin embargo ambos resultados fueron significativamente mayor que los arrojados por WaveOne.

Conclusiones

La fractura de instrumentos por fatiga cíclica hoy en día es una consecuencia poco probable, es un hecho que la principal razón para que ocurra la misma, es debido a torsión, como consecuencia de un mal uso del operador en la conformación del sistema de conductos radiculares.

1.INTRODUCCIÓN

La preparación del conducto radicular está reconocida como una de las fases más importantes del tratamiento endodóntico. El procedimiento incluye la remoción completa del tejido vital o necrótico, así como la remoción de la dentina infectada y no infectada. Durante un retratamiento es necesario, además, remover restos de materiales plásticos y/o metálicos del conducto radicular. Es necesario crear un espacio para facilitar la limpieza, y posteriormente realizar una obturación hermética del sistema de conductos radiculares. ⁽¹⁾

Las metas de la preparación del conducto radicular son:

- I. Remoción del tejido vital o necrótico.
- II. Preservación de la localización original del conducto radicular.
- III. Creación del espacio para la irrigación del sistema de conductos radiculares.
- IV. Creación del espacio para la obturación del sistema de conductos radiculares.

Schilder enfatizó que la forma del conducto ya preparado debería tener una forma cónica continua con el diámetro menor a la altura de la terminación apical de la preparación, respetando la posición del conducto dentro de la raíz; delineó los siguientes objetivos para el diseño del conducto ya preparado:

- I. Conicidad continua del ápice hacia la cavidad de acceso.
- II. El diámetro seccional deberá ser más pequeño en todos los puntos en dirección apical.
- III. La preparación del conducto radicular debe fluir de acuerdo a la forma del conducto original.
- IV. La posición del foramen fisiológico deberá permanecer en su posición original.
- V. El orificio apical deberá permanecer tan pequeño como practicable.

Por otra parte, propuso los siguientes objetivos biológicos:

- I. Confinación de la instrumentación dentro de las raíces mismas.
- II. No forzar residuos mas allá del foramen.
- III. Remoción completa del tejido dentro del conducto radicular.
- IV. Creación de suficiente espacio para medicamentos intra-radicales. ⁽²⁾

La fatiga cíclica se define como un fenómeno que ocurre cuando un instrumento rota en un canal curvo generando stress por compresión y tensión en repetidas ocasiones.

Por lo que el propósito de este estudio es observar la resistencia a la fatiga cíclica comparando 3 sistemas rotatorios de instrumentación de níquel-titanio, 2 con movimiento recíprocante y 1 con movimiento adaptativo. Para ello, se utilizaron 18 limas de 3 casas comerciales.

6 limas Wave One (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suiza) de ISO 25 con conicidad 0.08, 6 limas Reciproc (VDW, Munich, Alemania) de ISO 25 con conicidad 0.08 y 6 limas TF Adaptive (SybronEndo, Orange, CA, Estados Unidos) de ISO 25 con conicidad 0.08.

2. PROBLEMA

La fractura de los instrumentos de níquel-titanio, su costo y la pérdida del sentido del tacto pueden ser considerados como desventajas de los sistemas rotatorios.

Los instrumentos de níquel-titanio se fracturan solamente si se abusa de ellos, por lo tanto la culpa de las fracturas reside en el operador y no en la aleación. El factor costo de los instrumentos es probablemente la única desventaja que puede ser considerada como verdadera. La decisión de emplearlos o no es un factor que debe ser tomado individualmente por cada operador después de haber evaluado si la mejora de la calidad del tratamiento, ahorro de tiempo y esfuerzo inherente a los sistemas rotatorios, son argumentos que sustenten su empleo en la práctica diaria.

Un aspecto que siempre debe ser considerado al usar instrumentos rotatorios, cualquiera que sea su aleación, es la fatiga cíclica. Los instrumentos sufren cargas mayores o menores dependiendo de la morfología del diseño geométrico del instrumento y morfología del conducto radicular. ⁽³⁾

La dificultad en la eliminación de fragmentos de instrumentos fracturados y un pronóstico no favorable, son las principales problemáticas de este accidente del procedimiento. ⁽⁴⁾

2.1. Planteamiento del problema

● Por lo que el propósito de este estudio es el de determinar ¿cuál de los tres sistemas rotatorios de instrumentación de NiTi; Wave One y Reciproc: en movimiento recíprocante, y Twisted Files Adaptive: en movimiento adaptativo, presenta mayor resistencia a la fatiga cíclica?

3. JUSTIFICACIÓN

Los instrumentos rotatorios son incapaces de utilizarse de manera indefinida, incluso el fabricante recomienda el utilizarse una sola ocasión y desecharlos, por lo que se evaluará cuál de los sistemas elegidos para este estudio soporta un mayor tiempo de trabajo, antes de exceder el límite de resistencia a la fractura y utilizar ese conocimiento para la prevención de separación de instrumentos en el sistema de conductos radiculares.

Con la elaboración de este estudio se pretende evaluar la resistencia a la fatiga cíclica de 3 sistemas de instrumentación de níquel-titanio, comparando 2 sistemas que utilizan el movimiento recíprocante: WaveOne™ y Reciproc®, con 1 sistema que utiliza movimiento adaptativo: Twisted Files Adaptive®, y conocer si tiene relación directa el tipo de movimiento, así como los diferentes tipos de aleaciones con la fractura de instrumentos en el conducto radicular, e intentar disminuir estos accidentes para lograr un mejor resultado en nuestro tratamiento de conductos y con ello elevar el pronóstico del órgano dentario.

4. ANTECEDENTES

En 2013, Gustavo De-Deus, DDS, realizó un estudio acerca de la Resistencia a la Flexión y Vida Dinámica y Estática de la Fatiga Cíclica de Instrumentos Largos de Reciproc y WaveOne, el objetivo de este estudio fue el de evaluar las limas de alto calibre de Reciproc y WaveOne, en la metodología empleó una muestra de 68 instrumentos de NiTi (25 mm de longitud) para utilizar bajo movimiento recíprocante (Reciproc y WaveOne) para 3 diferentes pruebas. Se seleccionaron limas Reciproc R40 y WaveOne Large, ambas con un ISO de 0.40 mm en D0. Reciproc posee una conicidad en los primeros 3 mm apicales de 0.06 mm/mm, mientras que WaveOne posee una conicidad de 0.08 mm/mm. Para relevancia y estandarización del experimento, los instrumentos fueron examinados bajo SEM para buscar defectos o deformidades de fabricante.

Para la prueba de la resistencia a la flexión, se utilizaron 10 instrumentos elegidos al azar de cada sistema utilizando una máquina de prueba universal (DL 10.000) descrita en estudios previos. Una carga de 20 N fue aplicada a 15mm/min hasta obtener una deflexión de 45°. La carga máxima de flexión de cada lima fue registrada y analizada estadísticamente. Los valores asignados de la fuerza de flexión fueron clasificados en 3 puntos, 17°, 34° y 45° para un análisis más detallado.

Para la prueba de fatiga cíclica los instrumentos se distribuyeron al azar con ayuda de un algoritmo computarizado (<http://www.random.org>) en 4 grupos

experimentales (n=12). Los modelos dinámicos y estáticos para la prueba fueron realizados utilizando un aparato hecho a la medida. Un canal artificial de 1.4 mm en diámetro y 19 mm de longitud se fabricó de un tubo de acero inoxidable. Un segmento curvo largo de 9 mm con 6 mm de radio se creó entre los 2 segmentos rectos que medían 7 mm y 3 mm. El canal se llenó con glicerina, reduciendo la fricción y refrigerando un poco para prevenir el sobrecalentamiento. La prueba de fatiga se realizó bajo condiciones estáticas o dinámicas. Para la prueba estática se activaron 12 instrumentos de cada sistema recíprocante utilizando una pieza de mano con reducción 6:1 (Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim, Germany) activada con un motor de torque controlado (Silver Recipro;VDW) utilizando los programas preconfigurados para cada uno ("RECIPROC ALL" para Recipro y "WAVEONE ALL" para WaveOne). Todos los instrumentos se utilizaron siguiendo las instrucciones del fabricante hasta ocurrida la fractura. Un aparato de acero inoxidable con una base cuadrada y eje vertical fue fabricado. Los instrumentos rotaron de manera libre con aplicación de glicerina entre cada instrumento. Para evitar errores humanos se grabó con video simultáneamente, para observar el tiempo preciso en el cual se separó el instrumento. Para la prueba dinámica otros 12 instrumentos de cada sistema se utilizaron, bajo el mismo protocolo, pero para este experimento, un aparato mecánico promovió movimientos axiales hacia atrás y adelante mientras las limas rotaban dentro del canal. La amplitud de los movimientos axiales fue de 3 mm, con aproximadamente 2 segundos entre

cada oscilación. Las superficies fracturadas fueron analizadas bajo el microscopio de escaneo de electrones (JSM 5800) para determinar el tipo de fractura y la presencia de deformación plástica. Los resultados arrojaron que los instrumentos de WaveOne presentaron significativamente mayor resistencia a la flexión que Reciproc ($P < .05$). Sin embargo, Reciproc reveló significativamente mayor resistencia a la fatiga cíclica ($P < .05$) en ambas pruebas, estática y dinámica. La inspección bajo el SEM de las superficies fracturadas indicó que todos los instrumentos mostraron características morfológicas de fractura dúctil. No se observaron deformaciones plásticas en el eje de los instrumentos fracturados. ⁽⁵⁾

En 2013, Eugenio Pedullà, publicó el estudio Influencia de Movimientos Continuos o Reciprocantes en la Resistencia a la Fatiga Cíclica de 4 Diferentes Instrumentos Rotatorios de Níquel-Titanio, el objetivo del estudio fue evaluar la resistencia a la fatiga flexural de Reciproc R25, WaveOne Primary, Mtwo y Twisted File utilizados en rotación continua o en 2 diferentes movimientos reciprocantes. En materiales y métodos se utilizaron un total de 180 limas para uso en movimiento reciprocante (Reciproc y WaveOne) y rotación continua (Mtwo y TF). En movimiento reciprocante se seleccionaron Reciproc R25 y WaveOne Primary, ambas con un ISO de 25 mm en la punta y una conicidad de .08 en los 3 mm apicales con una conicidad decreciente y variable en los demás mm. En rotación continua se seleccionaron Mtwo #25/06 y TF #25/06. Se dividieron en 3 grupos de 45 limas de 25 mm de longitud ($n=15$) basados en

la prueba de movimiento: rotación continua (grupo 1: 300rpm), movimiento recíprocante con "RECIPROC ALL" (grupo 2), y movimiento recíprocante con "WAVEONE ALL" (grupo 3). Se inspeccionaron todos los instrumentos bajo un estereomicroscopio (SZR-10) para identificar defectos o deformidades de fábrica. Un modelo estático para la prueba de fatiga cíclica se utilizó en un aparato realizado a la medida que permitía simular el movimiento de un instrumento en un canal curvo, el cual es similar al descrito previamente por Plotino y cols. Este contaba con un radio de curvatura de 5 mm y un ángulo de curvatura de 60° medido de acuerdo al método de Schneider, un centro de curvatura de 5 mm de la punta del instrumento, y un segmento curvo en el canal de aproximadamente 5 mm de longitud. Los canales se cubrieron con vidrio para prevenir que el instrumento se saliera. Las limas se activaron utilizando un contraángulo de reducción de 6:1 (Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim, Germany) accionados por un motor de torque controlado (Silver Reciproc; VDW, Munich, Germany).

Para reducir la fricción entre el instrumento y el canal metálico, se utilizó aceite sintético para la lubricación de partes mecánicas (Super Oil). Todos los instrumentos fueron rotados hasta que ocurriera la fractura y el tiempo se paró inmediato a que esto ocurriera, Para evitar error humano, se grabó video simultáneamente, y las grabaciones fueron posteriormente observadas para confirmar el registro previo. El NCF se calculó multiplicando el tiempo (en segundos) hasta la fractura por el número de rotaciones o ciclos por segundo.

(El fabricante menciona que "RECIPROC ALL" posee una velocidad de 300 rpm y "WAVEONE ALL" posee una velocidad de 350 rpm). La longitud de la porción fracturada se midió utilizando un microcalibrador digital (Mitutoyo). Los datos NCF se analizaron utilizando 2 análisis de variables y en BOnferroni post hoc a 0.05 (Prism 5.0). El NCF era la variable dependiente, mientras que la marca de las limas y el tipo de rotación/reciprocante fueron la variable independiente. Los resultados arrojaron que existen diferencias estadísticas significativas entre los 3 grupos de la misma marca cuando se considera el tipo de rotación/reciprocante como la variable independiente. Por otra parte, existieron diferencias significativas entre los mismos grupos cuando se consideró la marca como la variable independiente. Post and hoc mostró una diferencia significativa mayor a resistencia a la fatiga cíclica entre 2 tipos de movimiento reciprocante ("RECIPROC ALL" y "WAVEONE ALL") cuando se compararon con rotación continua. No hubo diferencia significativa entre los 2 diferentes movimientos reciprocantes probados en cuanto a resistencia a la fatiga cíclica.⁽⁶⁾

En 2013, Juan José Pérez-Higueras, estudió la Resistencia a la Fatiga Cíclica de las Limas de Niquel-Titanio K3, K3XF, y Twisted File bajo Movimientos de Rotación Continua y Reciprocante, el objetivo del estudio fue comparar la resistencia a la fatiga cíclica de las limas en movimiento de rotación continua y reciprocante. En su metodología utilizó 210 limas nuevas (60 K3, 60 K3XF, y 90 TF). Todas con ISO 30 y conicidad 0/06. La resistencia a la fatiga cíclica se

evaluó a 5 mm de la punta. El diámetro fue de 0.60mm. Las limas se dividieron en 7 grupos (30 limas en cada uno). Se utilizó rotación continua a 350 rpm en las limas de los grupos de K3-C, K3XF-C, y TF1-C, y 500 rpm en el grupo TF2-C. Las limas en los grupos K3-R, K3XF-R y TF1-R se utilizaron en movimiento recíprocante. El experimento se realizó utilizando un aparato descrito previamente. Este era de acero inoxidable con 60° de curvatura y 3mm de radio, con rangos de diámetro de 0.4-1.4 mm y una profundidad de 0.1 mm.

La lima y el canal se lubricaban con aceite sintético para minimizar la fricción. Se utilizó un cronómetro para el registro. Se utilizó el análisis de Weibull para calcular diferentes parámetros y su 95% de intervalos de confianza para cada grupo. Los resultados arrojaron que la resistencia a la fatiga cíclica de los 3 grupos de limas fue significativamente mayor cuando las limas se utilizaron en movimiento recíprocante. Los resultados demostraron también que K3XF bajo rotación continua mostró significativamente un tiempo de vida mayor que TF y K3, siendo TF mejor que K3. ⁽⁷⁾

En 2013, Jung-Hong Ha, realizó una investigación acerca del Efecto del Tratamiento Térmico Fase-R en la Fractura por Resistencia Torsional y Fatiga Cíclica, el propósito del mismo fue el de investigar en instrumentos con idénticas características geométricas si la resistencia a la fatiga cíclica y al stress torsional aumentaba con el tratamiento térmico fase-R. Como metodología utilizó dos instrumentos rotatorios de NiTi, K3XF y K3 (SybronEndo), debido a que poseen características geométricas idénticas en

su diseño pero diferente aleación metálica; K3 está hecha de NiTi convencional, y K3XF está renovada con el tratamiento térmico fase-R en su aleación metálica. Los tamaños de los instrumentos utilizados fueron #30/06 y #30/04. Se seleccionaron para evaluar el efecto de la conicidad en la resistencia a la fractura.

Se dividieron en los siguientes grupos: grupo 1, limas rotatorias K3 #30/04 (n=10); grupo 2, limas rotatorias K3XF #30/04 (n=10); grupo 3, limas rotatorias K3 #30/06 (n=10); y grupo 4, limas rotatorias K3XF #30/06 (n=10). Antes de la fase experimental, la geometría de las limas K3 y K3XF a nivel D5 se inspeccionaron bajo microscopio de escaneo de electrón (SEM). El área D5 se midió utilizando Image-J software. Se utilizaron limas nuevas. La resistencia torsional se evaluó utilizando un AEndoS, descrito previamente por Yum y cols. Los 5 mm apicales fueron asegurados entre bloques de policarbonato. Se mantuvo la lima recta, y se rotó en sentido horario a una velocidad de rotación constante de 2 rpm hasta que ocurrió la fractura. La carga torsional (Ncm) y el ángulo de distorsión se grabaron durante la rotación de las limas a un rango de 20 Hz. Se computarizó utilizando el software Origin v6.0 Professional.

La resistencia a la fatiga cíclica se evaluó utilizando un artefacto realizado a la medida. Este aparato se diseñó para permitir reproducir un instrumento confinado en un canal curvo. Se realizó un bloque artificial con acero templado con un radio de 6 mm y un ángulo de curvatura de 45°, medido por el método descrito por Schneider. Posee un colector de vidrio para observar las limas

durante la rotación y poder removerlas del canal después de su fractura. La prueba de fatiga cíclica se conductó en un modo dinámico, con movimientos de picoteo continuos de arriba a abajo (4mm en cada dirección a 0.5 segundos y 50 milésimas de segundos) para simular la situación clínica. Se dispersó aceite sintético (WD-40) en el espacio del canal metálico, como lo recomendó Grande y cols. Los instrumentos fueron libremente rotados a una velocidad constante de 300 rpm con el uso de torque controlado preprogramado por el motor eléctrico (X-smart; Denstply Maillefer, Switzerland). El torque se colocó al máximo (5.2 Ncm) para excluir influencias del mismo en la velocidad de rotación. La fractura del instrumento se detectó visulamente y con el sonido y se grabó utilizando un cronómetro. El número de cilcos hasta la fractura (NCF) de cada instrumento se calculó utilizando la siguiente fórmula: tiempo total (segundos) para la fractura multiplicado por la velocidad racional (5 revoluciones por segundo, 300 rpm). La longitud de la punta de la lima fracturada se midió utilizando un microcalibrador electrónico (Mitutoyo, Kawasaki, Japan).

Los datos se analizaron primero utilizando el Kolmogrov-Smirnov test para evaluar la asumción de la normalidad. El NCF y la longitud de los fragmentos fracturados se analizaron estadísticamente con el uso de un test t independiente. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el SPSS software. Después del test de fatiga cíclica y torsional, todos los fragmentos

fracturados se observaron bajo el microscopio de escaneo de electrones (SEM).

Los resultados mostraron que no hubo diferencia significativa en la resistencia torsional entre las dos aleaciones cuando se compararon en fuerza, ángulo de fractura, y rigidez. Sin embargo, K3XF mostró superior resistencia a la fatiga cíclica comparado con K3.⁽⁸⁾

En 2012, Ricardo Castelló-Escrivá, estudió una comparación In Vitro de la Resistencia a la Fatiga Cíclica de ProTaper, WaveOne, y Twisted Files. Como metodología se utilizaron 80 limas F2 ProTaper, 24 limas Primary Wave One y 80 limas 25,08 TF. Se eligieron estos instrumentos debido a que poseen el mismo tamaño de diámetro apical, 25 y conicidad 08. El aparato para medir la fatiga cíclica consistía en una caja de acero inoxidable con 4 canales simulados con distintos ángulos y radios de curvatura. Los 4 canales tenían una longitud de 20 mm con un diámetro apical de .40mm y conicidad de 09. El canal 1 tenía 60° de ángulo de curvatura y 8mm de radio, el canal 2 tenía 45° y 8mm, el canal 3 tenía 60° y 5mm, el canal 3 tenía 45° y 5 mm. El diámetro de los canales simulados era más amplio que los instrumentos para permitir que los mismos tuvieran una rotación libre. Los instrumentos ProTaper y TF se utilizaron con un motor de movimiento de rotación continua (X-Smart; Dentsply Maillefer) con un contraángulo 16:1 a torque máximo (5.2Ncm) a velocidad marcada por el fabricante de cada instrumento, ProTaper a 300 rpm y TF a 500 rpm. Los instrumentos Wave One se utilizaron con el motor Wave One

(Dentsply Maillefer) con un contraángulo de reducción 6:1 con movimiento recíprocante. El motor WO se utilizó con la configuración preestablecida, con la velocidad y torque ya preprogramados (350 rpm). Para reducir la fricción al momento del contacto del metal del instrumento con las paredes del canal metálico, se utilizó lubricante de aceite en el espacio posterior a cada uso.

La instrumentación se sincronizó con el tiempo mediante un stopwatch (Tlmex, Middlebury, CT) a una centésima de segundo. Se detuvo el tiempo inmediato a la fractura del instrumento. El tiempo se convirtió en NCF (número de ciclos hasta fractura). El análisis de datos se realizó utilizando el programa SPSS 15.0 Chicago, IL.

En general, WO fue el más resistente a la fatiga cíclica, seguido por TF y ProTaper.⁽⁹⁾

En 2012, Ya Shen, realizó una investigación acerca del Efecto del Ambiente en la Fractura por Fatiga de Instrumentos Rotatorios de Memoria Controlada de Aleación de Níquel-Titanio. El propósito de este estudio fue examinar la conducta de fatiga de dos tipos de instrumentos hechos con una aleación de níquel-titanio con memoria controlada (CM wire) bajo varias condiciones ambientales. Para la metodología se describió previamente el protocolo de la prueba a la fatiga, cada instrumento de NiTi fue constreñido a una curvatura por 3 pins de acero inoxidable rígidos, una fotografía digital calibrada de la curvatura fue tomada. Se utilizó una velocidad de 300 rpm hasta la fractura. La

vida de fatiga, o el número total de revoluciones hasta la fractura,, N_f fue grabado.

Se utilizaron instrumentos rotatorios de NiTi con conicidad .04 y calibre ISO 25 de la marca ProFile (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suiza), Typhoon (Clinician's Choice Dental Products, New Milford, CT), Typhoon CM (Clinician's Choice Dental Products, New Milford, CT) y DS-SS0250425NEY (Clinician's Choice Dental Products), DS-SS0250425NEY CM (Clinician's Choice Dental Products) fueron sujetos a una flexión rotacional a una curvatura de 35° con un radio de 8-mm en aire (humedad relativa, 65%) agua desionizada, 17% EDTA con un pH de 7.0, o agua desionizada a temperatura de $23^\circ \pm 2^\circ\text{C}$, después la parte activa (16 mm) del instrumento fue inmersa en 6% NaOCL a temperatura ambiente por 25 minutos. Solo la longitud de 16-mm de la punta del instrumento fue inmersa en el medio líquido durante la prueba para evitar acción galvánica entre el instrumento y su manejador. Todos los instrumentos de aleación CM de Clinician's Choice Dental Products fueron prototipos, pero de acuerdo con el fabricante ellos son idénticos con Typhoon, los cuales estarán disponibles comercialmente muy pronto. Después de la prueba, los fragmentos separados fueron recolectados, enjuagados brevemente con agua desionizada, y montados para que la superficie de fractura fuera paralela al escenario microscópico para una examinación detallada bajo microscopio de escaneo de electrones (SEM) operando de 5 a 8 kV. La superficie de fractura de todos los fragmentos separados se examinó bajo SEM a varias

magnificaciones para identificar el origen de la misma y para medir el área de esta. Los datos del número de los orígenes de la fractura para cada espécimen fueron examinadas mediante el uso del test exacto de Fisher para diferenciar entre los diseños de las limas y sus aleaciones. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa SPSS para Windows 11.0. Como resultado se obtuvo que dos instrumentos nuevos de CM mostraron una mejora de >4 a 9 veces en N_f que las limas convencionales de NiTi con el mismo diseño bajo varios ambientes ($P < .05$). La vida de fatiga de 3 instrumentos superelásticos convencionales de NiTi fue similar bajo varios ambientes, en los cuales N_f de 2 nuevos instrumentos de Cm fue significativamente más larga en medio líquido que en aire. Se concluyó que con las limitaciones de este estudio, el tipo de aleación metálica de NiTi (Limas CM vs limas NiTi convencionales superelásticas) influye en la resistencia a la fatiga cíclica bajo varios ambientes. La vida de fatiga de instrumentos CM es mayor en medio líquido que aire. ⁽¹⁰⁾

En 2012, Gianluca Gambarini, DDS, realizó una investigación acerca de la Influencia de Diferentes Ángulos de Reciprocación en la Fatiga Cíclica de los Instrumentos Endodónticos de Níquel-Titanio. El propósito de este estudio fue el de evaluar la resistencia a la fractura por fatiga cíclica de instrumentos de níquel-titanio accionados por un motor bajo movimiento recíprocante en varios ángulos. Para la metodología se utilizaron 50 limas de NiTi K3XF (SybronEndo, Orange, CA) con punta ISO 40, conicidad 0,06, las cuales fueron divididas al azar en 5 grupos de 10 cada uno. Todos los instrumentos fueron sujetos a

pruebas a la fatiga cíclica. Los instrumentos del grupo I al IV fueron probados utilizando diferentes movimientos recíprocos, mientras que los instrumentos del grupo V (grupo control) fueron utilizados en rotación continua. Para cada grupo recíproco, se seleccionaron ángulos específicos de reciprocación: Grupo I: ángulo de rotación de 90° en sentido de las manecillas del reloj (CW) y un ángulo de rotación de 30° en sentido contrario a las manecillas del reloj (CCW)(ángulo de progresión para cada ciclo recíproco = 60°); Grupo II: ángulo de rotación de 150° CW y 30° CCW (ángulo de progresión para cada ciclo recíproco = 120°); Grupo III: ángulo de rotación de 210° CW y 30° CCW (ángulo de progresión para cada ciclo recíproco = 180°); Grupo IV: ángulo de rotación de 390° CW y 30° CCW (ángulo de progresión para cada ciclo recíproco = 360°). La velocidad para todos los grupos fue programada a 300 rpm. Se utilizó un nuevo motor endodóntico (Satelec Endo Dual, Acteon, France) que permitía al usuario modificar y programar los ángulos recíprocos en ambas direcciones CW y CCW, se utilizó un contrángulo de reducción 16:1. Se utilizó un bloque de metal simulador de conducto cúbico de 36.8 x 25.4 x 9.5 mm con 60° de ángulo de curvatura y un radio de curvatura de 5 mm. Todos los instrumentos fueron rotados o recíprocados hasta que ocurrió la fractura. El tiempo de fractura fue grabado, y los datos fueron analizados estadísticamente con el uso de una forma de análisis de variable, seguidos por el análisis de Tukey para la comparación entre los diferentes grupos. Los resultados arrojaron que todos los grupos recíprocos (grupo I al IV)

mostraron un incremento significativo en el tiempo de la falla en comparación con el grupo V (rotación continua)($P < 0.05$). El tiempo fue significativamente mayor en el grupo I, seguido del grupo II. No se encontró diferencia significativa entre los grupos III y IV ($P = .251$). Incrementando el ángulo en sentido de las manecillas del reloj y en consecuencia, incrementando el ángulo de progresión para cada ciclo recíproco se redujo la resistencia a la fatiga cíclica. Se concluyó que el movimiento cinemático (movimientos recíprocos en varios ángulos) tuvo una influencia significativa en la vida de fatiga cíclica de los instrumentos de NiTi examinados. ⁽¹¹⁾

En 2012, Hyeon-Cheol Kim, realizó un estudio acerca de la Fatiga Cíclica y Resistencia Torsional de Dos Instrumentos Nuevos de Níquel-Titanio utilizados en Movimiento Recíproco: Reciproc Versus WaveOne. En este estudio se estableció que el uso del movimiento recíprocante se afirmó para incrementar la resistencia de las limas de Níquel-Titanio a la fatiga en comparación con los de rotación continua. Recientemente 2 nuevas marcas de limas de NiTi han sido integradas al mercado para uso en Movimiento Recíprocante. El propósito de este estudio fue el de comparar la resistencia a la fatiga cíclica y resistencia torsional de estas dos limas: Reciproc (VDW, Munich, Alemania) y WaveOne (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suiza).

Como metodología se llevó a cabo una prueba de fatiga cíclica con un movimiento de picoteo simultaneo con el instrumento (n = 10 cada uno) operando con el movimiento recíproco recomendado hasta la fractura del Reciproc R25 y la lima Primaria de WaveOne. ProTaper F2 fue probada en rotación continua para servir como un control de comparación. El número de ciclos a la fractura (NCF) se determinó por una medición del tiempo para la fractura. La longitud del fragmento se midió y la superficie de fractura se examinó con el uso de un microscopio de escaneo de electrones. Para evaluar la resistencia torsional se utilizó un experimento descrito por Parker y cols. y Yum y cols. Se construyó un bloque de metal con un hoyo cúbico (5 x 5 x 5 mm) en el cual 5 mm de la punta de cada lima fue tenido rígidamente en el lugar llenando el molde con resina composite y fotocurado. Para comparar la propiedad mecánica del instrumento bajo torsión, una rotación uniforme a 2rpm se aplicó en la lima en estado recto con el uso de un examinador de torsión (Osstem, Busan, Korea). El torque se aplicó en dirección contraria a las manecillas del reloj para Reciproc y WaveOne y en sentido de las manecillas del reloj para ProTaper. La máxima carga torsional (N-cm) se registró durante la carga hasta que la lima sucumbió a la carga de torsión. Los fragmentos rotos se evaluaron bajo el microscopio de escaneo de electrones (SEM) para características topográficas a magnificaciones de 180 a 200 veces. El análisis estadístico se realizó mediante el uso del análisis de variables.

Los resultados mostraron que Reciproc tuvo un NCF más alto y WaveOne tuvo una resistencia torsional más alta que los otros. Ambas limas reciprocantes demostraron significativamente más alta resistencia a la fatiga cíclica y torsional que ProTaper ($P < .05$). El análisis fractográfico mostró características típicas de fracaso de fatiga cíclica y torsional para todos los instrumentos. Se concluyó que las 2 marcas de limas NiTi para el uso con movimiento reciprocante parece tener propiedades mecánicas superiores.⁽¹²⁾

En 2012, Dina Al-Sudani, realizó un estudio acerca de la Fatiga Cíclica de los Instrumentos Rotatorios de Níquel-Titanio en una Doble Curvatura (Forma de S) Simulada. En dicho estudio se probó la resistencia a la fatiga de las limas rotatorias de níquel-titanio en conductos radiculares artificiales con doble curvatura (Forma de S) y compararon esos resultados con conductos radiculares artificiales con curvatura simple. Como metodología se utilizaron dos instrumentos endodónticos de níquel-titanio que constan de tamaños idénticos (conicidad constante de 0,06 y 0,25 diámetro de la punta), instrumentos Profile (Dentsply Maillefer, Baillagues, Suiza) e instrumentos Vortex (Dentsply-Tulsa, Tulsa, OK). Ambos instrumentos fueron probados a la fatiga dentro de canales artificiales con curvatura doble y curvatura sencilla. 10 instrumentos de cada grupo fueron probados a la fatiga en un movimiento de rotación continua a 300 rpm. El Número de Ciclos hasta la Fatiga (NCF) se calculó redondeándolo al número entero más cercano, y la longitud del fragmento fracturado se midió en milímetros. Los datos fueron analizados

estadísticamente con un nivel de significancia al 95% de confianza. Los resultados arrojaron que el valor de NCF estuvo siempre estadísticamente más bajo en el canal artificial de doble curvatura en comparación con el canal artificial de curvatura sencilla ($P > .05$) en ambas curvaturas (apical y coronal). Se notaron diferencias estadísticas significantes entre instrumentos del mismo tamaño de diferente marca solo en la curva sencilla; Profile registró un valor de 633.5 ± 75.1 NCF, sin embargo, Vortex registró un valor de 548 ± 48.9 NCF. Como conclusión sin tomar en cuenta las diferencias entre los instrumentos utilizados en el presente estudio, los resultados sugirieron que entre más complejo es el conducto radicular, más adversos son los efectos en la resistencia a la fatiga cíclica de los instrumentos.⁽¹³⁾

En 2008, Gianluca Gambarini, realizó un estudio donde investigó si la resistencia a la fatiga cíclica aumentaba con los nuevos procesos de manufacturación. Él compara los instrumentos Twisted Files, usando el método twisted (TF; SybronEndo, Orange, CA, Estados Unidos) y los de aleación de M-wire (GTX; Tulsa-Dental Specialities, Tulsa) con los instrumentos producidos por un proceso tradicional de NiTi (K3, SybronEndo, Orange, CA, Estados Unidos). Se probaron dos grupos de instrumentos endodónticos de NiTi los cuales consistían de tamaños idénticos (ISO 20 y conicidad .06 o Iso 25 y conicidad .06): En el grupo A se compararon K3 25/06 (SybronEndo) con TF 25/06 (SybronEndo) y en el grupo B se compararon K3 20/06 (SybronEndo) con GT series X 20/06 (Dentsply Tulsa-Dental Specialities). Se probaron 10

instrumentos de cada sistema a resistencia a la fatiga cíclica, resultando un total de 40 instrumentos. Todos los instrumentos se inspeccionaron previamente utilizando un estereomicroscopio óptico con una magnificación de 20x para análisis morfológico y para observar cualquier signo de deformación. Se descartaron todos los instrumentos defectuosos. Las pruebas fueron realizadas con un específico dispositivo de fatiga cíclica que evaluó ciclos a la fractura de instrumentos rotatorios dentro de conductos artificiales curvos. Los resultados indicaron que los instrumentos de TF de tamaño 25/06 demostraron un aumento significativo en el número de ciclos a la fractura en comparación con limas K3 del tamaño 25/06. Los instrumentos K3 del tamaño 20/06 no demostraron ningún aumento significativo en el número de ciclos a la fractura en comparación con los instrumentos de la serie X de GT del tamaño 20/06. Como conclusión, se obtuvo que el nuevo proceso de fabricación produjo limas rotatorias NiTi (Twisted Files) más resistentes a la fatiga que los instrumentos producidos con el proceso de pulido tradicional de NiTi. Los instrumentos producidos con el proceso de M-wire (GTX) no fueron encontrados para ser más resistentes a la fatiga que los instrumentos producidos con el proceso de pulido tradicional de NiTi. ⁽¹⁴⁾

5. MARCO TEÓRICO

5.1. Historia

En 1838, Edward Maynard creó el primer instrumento endodóntico, idealizado a partir de un muelle de reloj y desarrolló otros para utilizarlos con el objetivo de limpiar y ensanchar el conducto radicular.

En ese período no había consenso entre los fabricantes sobre la forma, el tipo y característica de la parte activa de los instrumentos endodónticos, los cuales no poseían criterios preestablecidos para su fabricación, excepto el aumento de diámetro de cada serie, siendo generalmente numerados de 1 a 6 y de 7 a 12. ⁽¹⁵⁾

En 1955, John I. Ingle creó la posibilidad de que se fabricaran instrumentos endodónticos que tuvieran una estandarización en el aumento secuencial de los diámetros, con nueva numeración y que representaran en décimos de milímetro, el diámetro de la punta activa de los mismos. ⁽¹⁶⁾

5.2. Preparación mecánica rotatoria

Este período inició con la aparición de los primeros sistemas de pieza de mano automatizadas, las cuales utilizaban limas de acero inoxidable, accionadas mediante un micromotor de aire, hecho que ocasionó efectos adversos inmediatos.

Uno de los primeros sistemas rotatorios que se introdujeron en el mercado fueron "Giromatic" de la casa comercial Micro Mega S.A. Besancon, Francia, el sistema "Endo Cursor", presentado en el año de 1964, y otros sistemas como

"M4" de la casa comercial Sybron Endo/Kerr, Orange County, USA, el cual en la actualidad se sigue utilizando para la patencia de los conductos, y finalmente, el sistema "Racer" de la casa comercial W & H - Pfingst & Co. Inc., New York, USA, en el año de 1975, que sobrevivieron un periodo de tiempo bastante corto debido a los fracasos presentados, el principal de ellos, la fractura de instrumentos. ⁽¹⁷⁾

En el año de 1985, se denominó la segunda generación de sistemas rotatorios, empleando piezas de mano automatizadas, fueron lanzados al mercado el sistema "Canal Finder", el cual fue desarrollado en Francia por Guy Levy, y su principal objetivo fue el de sustituir la instrumentación manual, ofreciendo una mayor rapidez y seguridad de trabajo. ⁽¹⁸⁾

Una nueva generación nació en las limas endodóncicas, y fue en el momento de la utilización de la aleación de níquel-titanio (Ni-Ti), la cual comenzó a ser fabricada con un porcentaje del 55% de níquel y el 45% de titanio.

Esta aleación fue utilizada primeramente en la industria naval por William J. Buchler, en 1963 en la NASA (National Aeronautics and Space Administration - USA) principalmente para la fabricación de antenas de naves espaciales.

En odontología, la aleación fue primeramente utilizada por los doctores Andreasen & Hilleman en el año de 1971, para la fabricación de alambres de ortodoncia debido a su gran capacidad de flexibilidad, menos módulo de elasticidad, alta energía almacenada durante su curvatura y su gran resistencia a la fractura por flexión y torsión. ⁽¹⁹⁾

En el año de 1973, los doctores Civjan, Huget y De Simon, sugirieron la confección de esta aleación para la realización de instrumentos endodóncicos, sin embargo fue en la década de los 80 cuando los doctores Walia, Brantlye y Gerstein, basados en las excelentes propiedades físicas de dicha aleación, decidieron confeccionarlos. ⁽²⁰⁾

5.3. Níquel-Titanio

En los últimos años, una nueva aleación metálica, constituida por níquel-titanio (NiTi), ha sido investigada constantemente en la especialidad de Endodoncia, y es la más empleada hoy en día debido a sus excelentes propiedades de flexibilidad, resistencia a la torsión y memoria en cuanto a su geometría. ⁽²¹⁾

El desarrollo de los sistemas que utilizaron esta aleación, contribuyeron en una revolución endodóncica, ya que incorporaron una serie de cambios conceptuales en la preparación del sistema de conductos radiculares. Con ello, permiten al operador aumentar la velocidad en la preparación, y conformar de una manera más eficiente el sistema de conductos radiculares en el tratamiento endodóncico. ⁽²²⁾

Dentro de las propiedades del níquel-titanio las más interesantes son la de su supuesta absorción tensional y mayor resistencia al desgaste por fatiga cíclica, así como una mayor resistencia torsional en comparación con el acero inoxidable. ⁽²³⁾

El níquel-titanio posee una propiedad de efecto de memoria, es decir, que vuelve a su forma inicial, después de la deformación y muestra con ello una gran elasticidad; indicación principal por la cual estos instrumentos no se deben precurvar. ⁽²⁴⁾

Por otro lado, la deformación plástica de una aleación se caracteriza por su capacidad de sufrir deformaciones permanentes, sin alcanzar la ruptura. Esta propiedad permite evaluar la capacidad de trabajo mecánico que el material podría soportar, conservando su integridad física.

Las propiedades de memoria de forma y superelasticidad están asociadas a una transformación de fase en estado sólido, la transformación martensítica termoelástica. Se utiliza el término de austenita, o fase beta (β), para la fase madre, estable a altas temperaturas, y el término de martensita, para la fase que proviene de la austenita por una transformación martensítica. Esta es también la fase estable a "bajas" temperaturas. ⁽²⁵⁾

La aleación de níquel-titanio presenta dos fases cristalográficas. Cuando una lima, fabricada con este tipo de aleación, se encuentra en reposo, esta se presenta en la fase de austenita, y cuando está en movimiento rotatorio, presenta una deformación conocida como martensita, las cuales son susceptibles a la deformación y por consecuencia, la fractura. Por ello, las limas confeccionadas con aleaciones de níquel-titanio poseen mayor tendencia a la fractura que las fabricadas con acero inoxidable. ⁽²⁶⁾

El cambio de austenita a martensita facilita la fractura de los instrumentos rotatorios de níquel-titanio, el cual es dado por los elevados niveles de stress (presión y calor), puede ocurrir en dos formas; fractura por torsión y fractura por fatiga de flexión.

5.4. Fatiga cíclica

La fatiga cíclica es acumulativa y no regresiva; es por esta razón que es recomendable desechar los instrumentos después de haberlos usado cierto número de veces. En realidad no depende del número de veces que fueron usados, sino de la carga a que fueron sujetos durante el o los tratamientos de conductos radiculares. Los alambres con los que están fabricados los instrumentos se componen por fibras metálicas, las cuales están alineadas longitudinalmente. Existe una fibra metálica en el centro de los instrumentos la cual es denominada fibra neutral. Al introducir un instrumento a un conducto radicular curvo, este sufre una deformación por lo que las fibras del lado cóncavo del instrumento van a ser comprimidas y las del lado convexo van a sufrir una dilatación. Al aplicarle movimientos de rotación al instrumento, las fibras metálicas empiezan a sufrir contracciones y dilataciones alternadamente, por lo que de esta manera se le induce a una fatiga cíclica, la cual es acumulativa y no reversible. Al haber superado los límites de elasticidad del instrumento, éste sufre deformaciones plásticas irreversibles y posteriormente se fractura.

La fractura, por lo general, se produce al empiezo de la curvatura del conducto ya que es ahí donde el instrumento sufre mayor grado de distorsión. ⁽¹⁴⁾

5.5. Fractura por torsión

Esta ocurre cuando la punta de la lima o cualquier parte del instrumento se atasca en alguna porción de las paredes de dentina del conducto radicular, mientras la pieza de mano que sostiene el mango de la lima continúa rotando. En esta situación se sobrepasa el límite de elasticidad del metal, llevando el mismo a una deformación plástica, como también a la fractura. ⁽²⁷⁾

5.6. Factores predisponentes a la fractura del instrumento

En la mayoría de los casos, la fractura de los instrumentos rotatorios de NiTi ocurre por el incorrecto o excesivo uso por parte del operador, sin embargo muchos factores se han relacionado con la predisposición a la fractura de los instrumentos de NiTi. ⁽²⁸⁾

5.6.1. Diseño del instrumento

Tanto el diseño del instrumento, como el área corss-sectional, pueden afectar la resistencia a la fractura de los instrumentos cuando estos son sometidos a carga flexural y de torsión. Mientras mayor es el diámetro del instrumento, se ha demostrado que tiende a sucumbir a la fatiga de flexión en comparación con los diámetros más pequeños. ⁽²⁹⁾

5.6.2. Dinámica del uso de los instrumentos

La velocidad con la que operan los instrumentos, así como hoy en día los distintos tipos de movimiento de los motores eléctricos endodóncicos influye de manera directa en la resistencia a la fractura torsional o por flexión, sin embargo, algunos autores han informado que la velocidad de rotación de los instrumentos no puede influir en la frecuencia de fracturas de las limas de NiTi, pero puede deberse a las variaciones presentadas en las distintas condiciones de estudios, distintos operadores, y diferentes tipos de instrumentos. ⁽³⁰⁾

5.7. Movimiento recíprocante

En 2008, se le dio un nuevo enfoque al uso de la lima F2 de ProTaper (DENTSPLY Ltd, Addlestone, UK) en un movimiento recíprocante como una alternativa a la rotación continua convencional. El movimiento recíprocante alivia el estrés del instrumento en sentido antihorario especial (acción de corte, el instrumento avanza en el canal y atrapa dentina para cortarla) y en sentido horario (liberación del instrumento, el instrumento se libera inmediatamente) y con ello extiende la vida del instrumento de NiTi, le brinda mayor resistencia a la fatiga, en comparación con rotación continua. ⁽³¹⁾

Los fabricantes de instrumentos endodóncicos desde hace tiempo que buscan evitar o minimizar la fractura o separación de éstos.

Los primeros esfuerzos fueron dirigidos a cambiar el diseño y luego a la modificación de las propiedades de la aleación. Recientemente, han implementado cambios en el tipo de movimiento que efectúan durante la conformación del sistema de canales radiculares.

WaveOne y Reciproc fueron los primeros instrumentos modernos en utilizar un movimiento de reciprocación, que se caracteriza por un mayor giro a favor del sentido de su helicoide que en contra ($150^{\circ}/30^{\circ}$ aproximadamente).

El movimiento recíproco básicamente se fundamenta en que cuando los instrumentos giran en contra del sentido de su helicoide se centran, disminuyen su stress y riesgo de fractura, sin embargo, tienden a impulsar detritus apicalmente.⁽³²⁾

5.8. Movimiento adaptativo

Es un movimiento que cambia y se adapta según las necesidades de cada caso; gira de forma tradicional y horaria cuando el instrumento se encuentra liberado dentro del canal o está sometido a bajo stress (600°), y se realiza un movimiento recíproco cuando la carga aumenta ($370^{\circ}/50^{\circ}$).

Con este movimiento adaptativo, dependiente de la carga sobre el instrumento, SybronEndo afirma que se obtienen los beneficios de los sistemas rotatorios tradicionales, como la eficiencia de corte, eliminación de limalla y disminución de la posibilidad del empaquetamiento e impulsión de detritos más allá del foramen apical, y de los movimientos recíproco, que mejora la resistencia a la fatiga cíclica en situaciones de mayor carga o stress. Este movimiento

adaptativo necesita de un nuevo motor eléctrico, "Elements", que detecta qué tan "trabado" está el instrumento, a lo que responde modificando la forma de rotación.⁽³³⁾

5.9. Sistemas rotatorios para la preparación del conducto radicular

El primer sistema rotatorio a base de níquel-titanio y con conicidad mayores que la clásica de 2% de los instrumentos convencionales fueron las de la Serie 29 y los ProFile el cual fue introducido en 1993 por Johnson.

Una de las ventajas básicas de los sistemas rotatorios se debe a las distintas conicidades de los instrumentos los cuales se adaptan mejor a la morfología original del conducto radicular, por lo que la forma de la preparación final, aunque no perfecta, es más exacta, consistente y fácil de reproducir.⁽³⁴⁾

5.9.1. Características Generales

5.9.1.1. WaveOne™

WaveOne™ de Dentsplay Maillefer, presenta nuevos estándares en endodoncia, según los dentistas, al proporcionar sencillez, seguridad y eficacia al procedimiento de conformación del canal radicular, usando un solo instrumentos NiTi por canal, en la mayoría de los casos. La complejidad de los procedimientos endodónticos puede desanimar a muchos profesionales a realizar este tipo de tratamiento. Sin embargo, WaveOne™ introduce el concepto de simplicidad en endodoncia, para ahorrar tiempo y aumentar el confort, a la vez que continúa ofreciendo una técnica que proporciona tratamientos de canales radiculares de calidad.

Las limas WaveOne™ tienen una geometría concebida específicamente para otorgar al profesional los máximos beneficios, gracias al giro alterno del motor WaveOne™. Esta geometría, combinada con la tecnología patentada de níquel titanio M-Wire de Dentsplay, son las razones principales del rendimiento superior de la lima WaveOne™, comparada con la mayoría de las limas NiTi que existen en el mercado. Las limas WaveOne™ se componen de los siguientes instrumentos: La lima Primary WaveOne™ esta diseñada para conformar por completo la mayoría de los canales radiculares. Sin embargo, si costase avanzar con una lima K10, entonces el tamaño apropiado de la lima es la Small. Si una lima K20 avanza hasta la longitud de trabajo con holgura, entonces el tamaño apropiado de lima WaveOne™ es la Large. Normalmente, una sola lima WaveOne™ será suficiente para conformar completamente el canal.

Composición

La parte cortante de estos instrumentos está fabricada con una aleación níquel titanio.

Indicaciones

Estos instrumentos sólo se deben usar en clínicas u hospitales, por profesionales calificados que realicen una práctica dental correcta (uso de guantes, gafas, dique de goma, etc).



Lima _WaveOne™

SMALL #021 .06



Lima _WaveOne™

PRIMARY #025 .08



Lima _WaveOne™

LARGE #040 .08

Los instrumentos WaveOne™ se utilizan en el tratamiento endodóntico, para la limpieza y conformación de los canales radiculares.

Además, debe utilizarse con el motor específico del fabricante, donde: El motor WaveOne trabaja con giro alterno, lo que significa que continuamente cambia la dirección de giro durante el procedimiento de conformación. El uso de un amplio ángulo de giro en la dirección de corte proporciona una alta eficacia, y un ángulo menor empleado en la contramarcha, ayuda a la lima WaveOne a avanzar con éxito a través del canal radicular, respetando la anatomía del mismo. Los ángulos optimizados también reducen el riesgo de atornillamiento y la fractura de la lima. Por lo tanto, el giro alterno de WaveOne aumenta la

confianza del profesional, así como la seguridad del paciente. La ventaja de la técnica de giro alterno son numerosas. En primer lugar, permite conformar la mayoría de los canales radiculares con una única lima de NiTi WaveOne, lo que significa que no se pierde tiempo cambiando de instrumentos, durante el procedimiento de conformación del canal radicular. Esto aporta al profesional una mayor simplicidad y disminuye hasta un 40% el tiempo global de conformación, comparado con la técnica rotatoria tradicional de movimiento continuo.

Contraindicaciones

Al igual que todos los sistemas rotatorios para la preparación de canales radiculares, los instrumentos WaveOne™ no deberían utilizarse en aquellos casos que presenten curvaturas apicales severas y bruscas.

Consideraciones para la preparación con WaveOne™

Evaluación radiográfica

Obtener radiografías periapicales tomadas desde diferentes ángulos del plano horizontal, para determinar la anchura, longitud y curvatura de canales radiculares.

Acceso

Crear un acceso en línea recta al orificio de entrada del canal, teniendo presente la conicidad, el alisado y acabado de las paredes axiales internas.

Selección de la lima WaveOne™ "Guía clínica y anatómica"

La lima WaveOne™ PRIMARY (025 .08) está diseñada para preparar completamente la mayoría de los canales radiculares.

Si cuesta avanzar con una lima K del número 010, entonces el tamaño seleccionado será la lima WaveOne™ SMALL (021 .06)

Podemos incluir los incisivos inferiores, los canales MV II de los molares superiores y/o los canales con curvaturas apicales.

Si la lima K del número 020 alcanza con facilidad la longitud estimada, entonces el tamaño adecuado es el WaveOne™ LARGE (040 .08) Podemos incluir los incisivos superiores, los premolares con un canal único y algunos molares con canales de mayor diámetro.

Protocolo de la Técnica de Preparación WaveOne™

1. Establecer un acceso coronal en línea recta hasta el orificio de entrada del conducto radicular.
2. Estimar la longitud de trabajo mediante radiografías o imágenes digitales preoperatorias, obtenidas con una correcta angulación.
3. Crear una permeabilidad del conducto usando suavemente la lima del 010, con la ayuda de irrigación o de un quelante viscoso, según se prefiera, hasta que se encuentre resistencia y la lima ya no avance más. Luego, se trabaja hasta que la lima tenga holgura en el canal.

4. Seleccionar la lima WaveOne™ consultando la “Guía Clínica y Anatómica”. Seleccionar los ajustes preprogramados en el motor WaveOne™.
5. Iniciar la preparación con la lima WaveOne™ seleccionada, junto con el irrigante. Realizar un movimiento de picoteo suave hacia adentro, con avances de 2-3 mm. de profundidad, hasta que la lima WaveOne™ avance en forma, y se note resistencia.
6. Sacar la lima WaveOne™, eliminar los restos de dentina e inspeccionar las espiras cortantes, irrigar y repetir los pasos 3 y 5 hasta haber conformado los dos tercios coronales del conducto radicular.
7. Preparar el tercio apical del canal con una lima del número 010 junto con un quelante viscoso. Utilizar esta lima con suavidad hasta que quede completamente suelta al alcanzar la longitud de trabajo estimada. Establecer la longitud de trabajo final, confirmar la permeabilidad apical, verificar que el canal es totalmente permeable e irrigar.
8. Usar la lima WaveOne™ a la longitud de trabajo final. Se considera terminada la preparación cuando las espiras apicales de la lima están llenas de dentina. Irrigar, recapitular, y volver a irrigar. Calibrar el tamaño del foramen apical con una lima manual ISO del mismo diámetro que la lima WaveOne™ que alcanzó la longitud de trabajo. Si la lima manual de calibrado ofrece resistencia cuando alcanza la longitud de trabajo, la preparación ha terminado. Si la lima de calibrado está suelta al alcanzar dicha longitud, se recomienda

usar una lima WaveOne™ más grande para terminar la preparación.

9. En casos muy raros, si la lima WaveOne™ PRIMARY (025 .08) no pudiera alcanzar la longitud deseada, se necesitará seleccionar la lima WaveOne™ SMALL (021 .06) para iniciar o realizar, según el criterio de acabado, la conformación del tercio apical.

10. Usar métodos de irrigación “activa” para conseguir una desinfección 3D del sistema de conductos radiculares.

Ventajas

Aumento del confort

Las características de WaveOne hacen que el dentista sienta una mayor facilidad que antes, durante los tratamientos endodónticos. La técnica de giro alterno, por ello, representa un punto de giro importante en el campo de la endodoncia.

Uso único

La mayoría de los profesionales tratan de encontrar formas para reducir costos en su práctica diaria. Utilizando una sola lima rotatoria WaveOne en cada procedimiento de conformación, en vez de cuatro o cinco, al final resulta mas asequible utilizar instrumentos endodónticos de un solo uso. Las limas WaveOne se suministran en envases preesterilizados y no se pueden esterilizar para el tratamiento de un segundo paciente (mango no

autoclavable).

Simplicidad

No hace falta desinfectar, limpiar, esterilizar, ni organizar las limas WaveOne™.

Sin riesgo de contaminación cruzada

No importa lo bien que un instrumento se haya esterilizado; la investigación demuestra que ciertas bacterias y restos de tejido pueden permanecer en el instrumento. Por lo tanto, cualquier reutilización de estos instrumentos, aumenta el potencial de infección cruzada en el siguiente paciente.

Óptima eficacia de corte

Una amplia investigación ha demostrado que una lima endodóntica utilizada en más de un caso disminuye su eficacia de corte. Al final, esto reduce la eficacia clínica en la práctica dental y afecta la satisfacción del dentista y del paciente. Con WaveOne no hay disminución de la eficacia de corte, ya que se usa un nuevo instrumento con cada paciente.

Mejor control de la fractura de la lima

Las limas endodónticas muestran signos de desgaste durante el uso normal. También están sujetas a la fatiga cíclica, la principal causa de fractura de la lima. Esto alterará gradualmente sus propiedades físicas, pudiendo favorecer la fractura del instrumento durante el tratamiento del paciente. El único uso, por

tanto, permite un mayor control de la fractura de la lima, aumentando la seguridad del paciente.

Precauciones

Las limas WaveOne™ son instrumentos de un solo uso. Limpiar las espiras con frecuencia y observar si aparecen signos de alteración de desgaste.

Irrigar los canales en forma abundante y frecuente, debido a la rapidez con la que se realizan las preparaciones.

Iniciar la preparación con la lima WaveOne™ seleccionada e irrigar con NaOCl.

Realizar un movimiento de picoteo suave hacia adentro, con avances de 2-3 mm de profundidad, para avanzar pasivamente con la lima WaveOne™ hasta notar resistencia. Estas limas solo se deben usar con movimiento recíproco, con los motores específicos de Dentsply Maillefer.

Advertencias

Al igual que todos los sistemas rotatorios para la preparación de canales radiculares, los instrumentos WaveOne™ no deberían usarse en aquellos casos que presenten curvaturas apicales severas y bruscas, debido al elevado riesgo de fractura. ⁽³⁴⁾

Desinfección, limpieza y esterilización

WaveOne™ está diseñada para un solo uso. No están recomendados los procedimientos de desinfección, limpieza y esterilización. Reutilizar las limas WaveOne™ aumenta el riesgo de contaminación cruzada y fractura.

Reacciones adversas

Este producto contiene níquel y no debe ser usado en personas con alergia conocida a este metal. ⁽³⁶⁾

5.9.1.2. Reciproc®

La curvatura del canal radicular siempre ha sido una complejidad dentro del tratamiento del canal radicular. Basado en los conceptos actuales en instrumentos rotatorios de NiTi y con un motor control de torque, el Dr. Ghassan Yared de Toronto/Canadá, ingeniosamente desarrolló un método a la perfección. Después de una fase de experimentación de más de 7 años envió la primera descripción de su técnica de preparación del canal radicular con sólo un instrumento rotatorio a ROOTS en marzo de 2007. Sin embargo, se requirieron más de 3 años con un equipo que incluía al Dr. Yared, ingenieros, metalúrgicos y técnicos electrónicos para convertir una gran idea en un producto profesional: el instrumento RECIPROC ®, motor, puntas de papel y conos de gutapercha.

El sistema fue presentado por primera vez en el Congreso de 2010 de IFEA en Atenas, por el doctor Yared y VDW, Alemania. La anatomía de la mayoría de los canales radiculares puede ser preparada con la nueva técnica utilizando una única lima. En la reciprocidad del movimiento, la lima RECIPROC® actúa, en primer lugar, en una dirección de corte y a continuación se invierte para liberar el instrumento. Una rotación de 360 grados se completa con tres movimientos alternados. La preparación inicial del canal radicular y un ensanchamiento previo del acceso es el estándar actual de la enseñanza para instrumentación rotatoria, ya que con esto se reduce al mínimo el riesgo de fractura del instrumento en el canal. Sin embargo, en los movimientos de reciprocidad los ángulos de alternancia en las rotaciones de derecha a izquierda son considerablemente inferiores a los ángulos en los que se fracturan el resto de los instrumentos. Para estos movimientos se utiliza un motor de endodoncia, el VDW.SILVER® RECIPROC®, que permite prevenir que el instrumento se fracture en su rotación, cuando éste sobrepase su ángulo de deformación plástica específico. La capacidad de centrado de la técnica de reciprocidad permite al instrumento seguir el camino natural de menor resistencia del canal radicular. Los Instrumentos RECIPROC® han sido diseñados específicamente para su uso en la reciprocidad y se fabrican de níquel titanio de M-Wire® en un proceso de tratamiento térmico innovador. Esta aleación tiene tanto mayor resistencia a la fatiga cíclica y proporciona mayor flexibilidad que el material de NiTi común. Otra ventaja del diseño

específico es una enorme capacidad para eliminar los desechos del canal. Además, la sección transversal en forma de S con dos bordes cortantes ofrece una alta capacidad de corte y flexibilidad con reducción de la fricción. De los tres tamaños de limas disponibles, se selecciona el que mejor se adapte al tamaño del canal: R25, R40 o R50. La forma del canal obtenido con cada uno de los tres instrumentos es óptima para todas las técnicas modernas de obturación del canal radicular.

Características

Los canales radiculares curvos siempre han aumentado la complejidad en la realización de los tratamientos radiculares. El concepto de fuerzas balanceadas fue desarrollado hace más de doce años y propuesto por Roane en 1985 y ha sido de gran influencia en la actualidad. Utilizando esta técnica fue posible preparar canales radiculares curvos con instrumentación manual, sin embargo la preparación de los canales radiculares con instrumentos manuales presentaba más errores, requerían más tiempo y era un trabajo arduo para el operador.

El desarrollo de la instrumentación rotatoria de níquel titanio resolvió mucho de estos inconvenientes; fue así que el Dr. Ghassan Yared comenzó a desarrollar instrumentos rotatorios de níquel titanio que utilizaran la reciprocidad en su movimiento, es decir con pequeños giros horario y anti horarios.

En conjunto con la VDW crearon el sistema rotatorio RECIPROC®. Para la reciprocidad en el movimiento de 360°, también se debió crear un motor específico con control de torque, el VDW.SILVER® RECIPROC® que está pre programado con el movimiento de reciprocidad para sistemas rotatorios de níquel titanio RECIPROC® y WaveOne® y rotación continua para sistemas rotatorios de níquel titanio Mtwo® FlexMaster® Protaper, K3 y Gates. Los instrumentos del sistema rotatorio de níquel titanio RECIPROC® son sólo 3 limas hechas de la aleación M-Wire que ofrece gran flexibilidad y resistencia a la fatiga cíclica. La sección transversal que poseen es de forma de S y punta inactiva.

Los tres instrumentos en orden progresivo son:



R25 con un diámetro ISO tamaño 25, conicidad 8%, color rojo



R40 con un diámetro ISO tamaño 40, conicidad 6%, color negro



R50 con un diámetro ISO tamaño 50, conicidad 5%, color amarillo.

Poseen un largo de 21mm, 25mm, 31mm y un tope de silicona con tres puntas con el color respectivo a cada instrumento.

Los instrumentos RECIPROC® están diseñados para ser utilizados como instrumento único, eso significa que en la mayoría de los casos se requiere de sólo un instrumento para preparar el canal radicular. La preparación del canal radicular obtenida por RECIPROC® y una abundante irrigación permite técnicas de obturación en frío, como en caliente.

Consideraciones

1. Asegurarse que se tiene acceso en línea recta al canal radicular, no es necesario la utilización de fresas Gates Glidden o de orifice opener ya que el diseño de RECIPROC® permite remover las obstrucciones del tercio coronal.
2. Radiografía preoperatoria para seleccionar correctamente el diámetro del instrumento a utilizar en relación a la anatomía del canal radicular ya que puede ser un canal fino, mediano o largo.
3. Si el canal radicular está parcial o completamente invisible en la radiografía, utilizar la lima R25, ya que es un canal estrecho.
4. Si el canal radicular esta completamente visible en la radiografía:
 - Se debe probar una lima manual ISO30, si entra en forma pasiva a longitud de trabajo, utilizar la lima R50, ya que es un canal amplio.

- Si la lima no entra en forma pasiva a longitud de trabajo, probar una lima manual ISO20 a longitud de trabajo y luego la lima R40, ya que es un canal mediano.
- Si la lima manual ISO 20 no entra en forma pasiva a longitud de trabajo, usar la lima R25.

De manera “pasiva” significa que el instrumento va directamente a la longitud de trabajo con un suave movimiento similar al dar cuerda al reloj (pequeñas rotaciones derecha izquierda), pero sin movimiento de limado.

6. Determinación Electrónica de la longitud: Canales Estrechos – durante la preparación con R25. Antes de comenzar la preparación, es necesario estimar la longitud de trabajo con la ayuda de una radiografía preoperatoria. Ajustar el tope a 2/3 de esa longitud. Una vez que se han preparado aproximadamente 2/3 del canal radicular, utilice una lima C-PILOT o una lima K y un localizador de forámen para determinar la longitud de trabajo.

7. Determinación Electrónica de la longitud: Canales Medios o amplios – antes de comenzar la preparación con R40 o R50.

Antes de comenzar la preparación, controle la longitud de trabajo utilizando una lima C-PILOT® o una lima K y un localizador de forámen. Ajustar el tope a la longitud. Una vez que han sido preparados los dos tercios coronal y medio del canal, se debe controlar de nuevo la longitud de trabajo.

Protocolo de uso

Radiografía preoperatoria para tener conocimiento de la anatomía y longitud del canal radicular.

Realizar cavidad de acceso y mantenerla siempre con irrigación. Seleccionar la lima RECIPROC® apropiada y asegurarla en el motor VDW.SILVER® RECIPROC®.

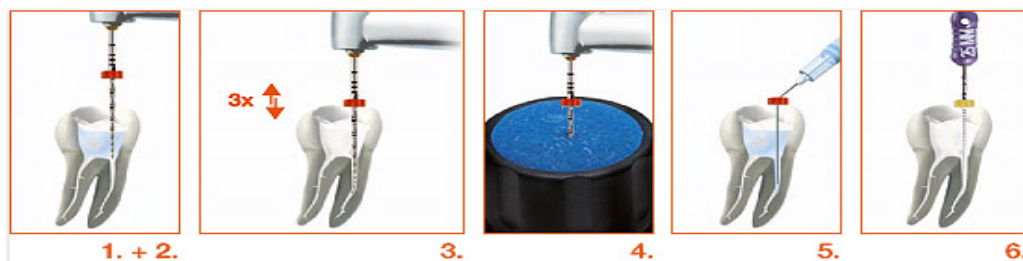
Introducir la lima seleccionada al interior del canal y utilizar movimiento de adentro afuera pecking motion sin presión (picoteo), aproximadamente por 1-2 segundos avanzando 2mm hasta llegar a longitud de trabajo. La amplitud de estos movimientos hacia adentro y afuera no debe superar los 3mm, solo se debe aplicar una presión muy ligera. El instrumento avanzará fácilmente en el canal.

Limpiar y remover la limalla de los instrumentos en el Interim Stand.

Irrigación abundante del canal radicular.

Verificar la permeabilidad del canal radicular con una lima tamaño ISO10 C-PILOT®.

Secar y utilizar el método de obturación elegido por el operador. ⁽³⁷⁾



5.9.1.3. Twisted Files Adaptive®

En mayo de 2013, la compañía SybronEndo presentó en Latinoamérica un nuevo sistema de instrumentación, tan solo unos meses después de su lanzamiento mundial. Éste propone una nueva cinemática que mezcla las ventajas del movimiento recíproco con el de rotación continua.



El sistema se origina a partir del instrumento Twisted File, uno de los más flexibles y de mayor resistencia a la fatiga cíclica que existen. Sus características se deben a una modificación en la aleación de NiTi llamada R-Phase o Fase R, que permite una fabricación por torsión en vez de torneado, lo que evita las marcas que deja el torno y que muchas veces son el punto de inicio de una fractura.

Este nuevo sistema se llama TF Adaptive, y presenta un movimiento que cambia y se adapta según las necesidades de cada caso; gira de forma tradicional y horaria cuando el instrumento se encuentra libre dentro del canal o

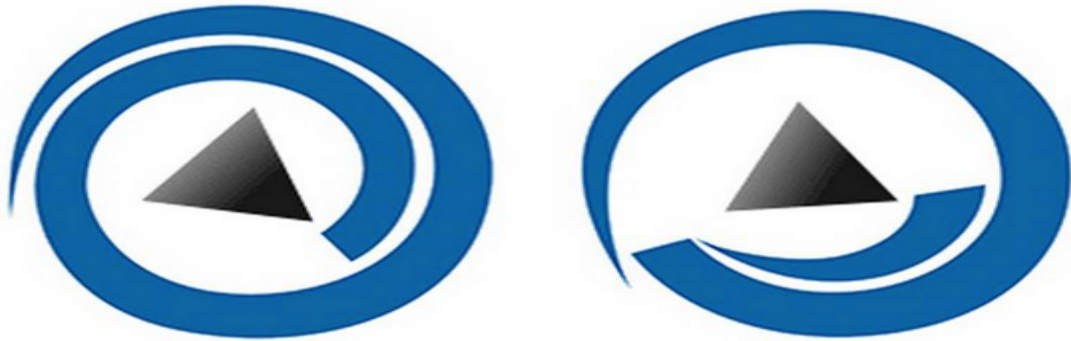
está sometido a bajo stress, y realiza un movimiento recíproco cuando la carga aumenta.

Con este movimiento adaptativo, dependiente de la carga sobre el instrumento, SybronEndo afirma que se obtienen los beneficios de los sistemas rotatorios tradicionales, como la eficiencia de corte, eliminación de limalla y disminución de la posibilidad del empaquetamiento e impulsión de detritos más allá del foramen apical, y los del movimiento recíproco, que mejora la resistencia a la fatiga cíclica en situaciones de mayor carga o stress.

Este movimiento adaptativo necesita de un nuevo motor eléctrico, “Elements” que detecta qué tan “trabado” está el instrumento, a lo que responde modificando la forma de rotación. El motor aparte de desarrollar este nuevo movimiento, es capaz de girar de forma tradicional permitiendo la utilización de otros instrumentos rotatorios.







Cuando TF Adaptive gira de forma “normal”, sin mucha carga sobre el instrumento, el movimiento rotacional se describe como $600^{\circ}/0^{\circ}$, es decir, el instrumento da un poco más de 1,5 vueltas, hace una pequeña pausa casi imperceptible, y vuelve a girar de forma horaria. Cuando el movimiento es recíprocante, gira 370° horario y 50° antihorario. Es importante recalcar que estos giros son los límites de los movimientos, pues no son constantes y van variando de acuerdo al esfuerzo al que está sometido el instrumento.

Adaptive Motion Technology

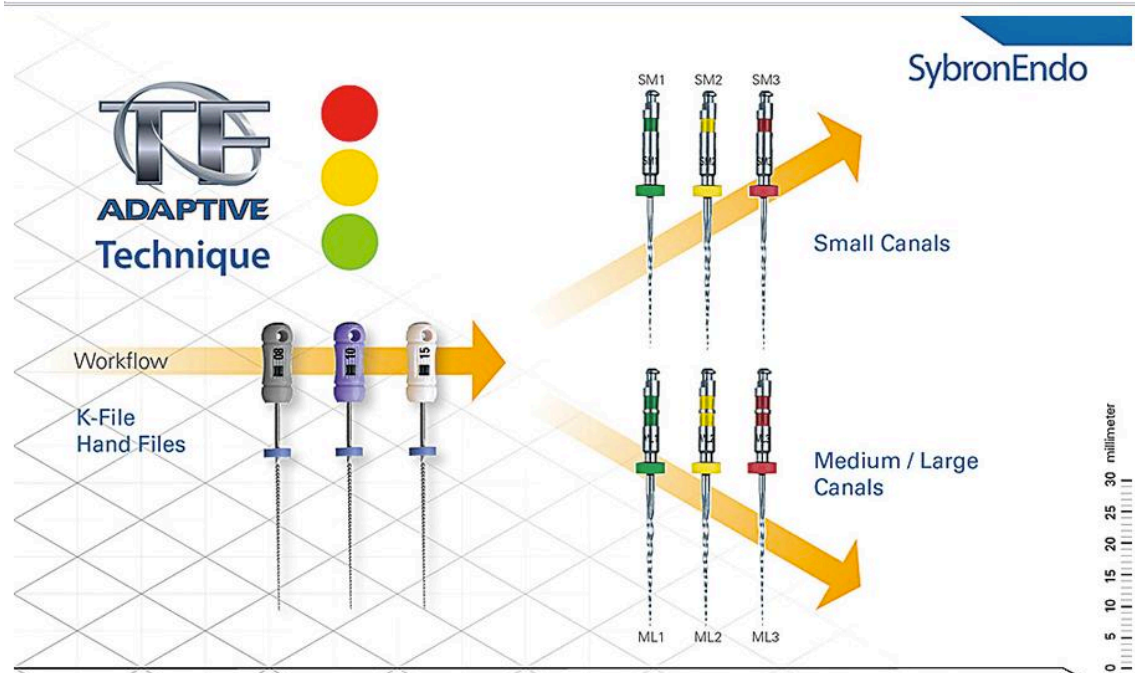


La razón de esta singular cinemática es evitar un movimiento recíprocante continuo, que según investigaciones recientes impulsa detritos a los tejidos periapicales, generando inflamación, daño y malestar postoperatorio. Por ello, la reciprocación queda reservada para las situaciones de mayor stress o atrapamiento del instrumento, como el inicio de la preparación o la terminación del tercio apical.

TF Adaptive tiene una secuencia para canales amplios y otra para canales estrechos. Cada una presenta tres instrumentos, los que están codificados con los colores de un semáforo, de tal manera que es fácil de recordar al utilizar.

	SM1: #20/ .04	SM2: #25/ .06	SM3: #35/ .04
SMALL (SM)			
	ML1: #25/ .08	ML2: #35/ .06	ML3: #50/ .04
MEDIUM/ LARGE (ML)			

El instrumento verde es el primero en utilizarse, y realiza el ensanchamiento inicial hasta longitud de trabajo; el amarillo continúa ensanchando la preparación, y su color sugiere detenerse o seguir hasta el instrumento rojo si se considera que no se ha alcanzado la amplitud adecuada para terminar la conformación mecánica del canal.



SybronEndo sostiene que al utilizar una secuencia de tres instrumentos en vez de uno solo (como es la tendencia actual), el incremento en diámetro de la preparación en apical será progresivo, menos agresivo y minimizará la posibilidad de cracks en las paredes radicales. En cuanto al instrumento, se disminuirían los esfuerzos y por lo tanto, las fracturas. ⁽³⁸⁾

6. HIPÓTESIS

6.1. Hipótesis nula (H0)

"No hay diferencia significativa en la resistencia a la fatiga cíclica con los diferentes sistemas de instrumentación: WaveOne, Reciproc y Twisted File Adaptive".

6.2. Hipótesis 1

"El sistema de instrumentación WaveOne es más resistente a la fractura que los sistemas Reciproc y Twisted File Adaptive".

6.3. Hipótesis 2

"El sistema de instrumentación Reciproc es más resistente a la fractura que los sistemas WaveOne y Twisted File Adaptive".

6.4. Hipótesis 3

"El sistema de instrumentación Twisted File Adaptive es más resistente a la fractura que los sistemas WaveOne y Reciproc".

7. OBJETIVO

7.1. Objetivo general

Identificar cuál de los sistemas de instrumentación WaveOne, Reciproc y Twisted Files Adaptive presenta una mayor resistencia a la fatiga.

7.2. Objetivo específico

Conocer si influye el tipo de movimiento de rotación: recíprocante vs. adaptativo en la resistencia a la fatiga cíclica.

8. TIPO DE ESTUDIO

Prospectivo

Longitudinal

Comparativo

Observacional

9. VARIABLES

Fatiga cíclica

Variable dependiente: NCF (Número de Ciclos hasta la Fractura).

Variable independiente: Tipo de movimiento de rotación (reciprocante/adaptativo).

9.1. Manejo de la variable

Cambios dimensionales que presenta el instrumento posterior al uso debido a los movimientos de flexión y deflexión.

El número de ciclos hasta la fractura (NCF) de cada instrumento se calculó utilizando la siguiente fórmula: tiempo total (segundos) para la fractura multiplicado por la velocidad racional.

10. UNIVERSO DE ESTUDIO

Instrumentos rotatorios de Níquel Titanio

11. CRITERIOS DE INCLUSIÓN

Instrumentos rotatorios nuevos Wave One, Reciproc y TF Adaptive.

Ultrasonificados

12. CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

Instrumentos nuevos que al Microscopio Electrónico de Barrido presentaron microfracturas o deformaciones de fábrica.

13. MATERIALES Y MÉTODOS

13.1. Muestras

Se utilizaron un total de 18 instrumentos rotatorios de Níquel Titanio de 3 casas comerciales distintas. Dentsply, VDW y SybronEndo

13.2. Material

- 6 instrumentos Wave One Primary (Dentsply Maillefer, Suiza) ISO 25 conicidad 0.08.
- 6 instrumentos Reciproc R25 (VDW, Munich, Alemania) ISO 25 conicidad 0.08.
- 6 instrumentos TF Adaptive M-L 1 (SybronEndo, CA, USA) ISO 25 conicidad 0.08.
- Microscopio Electrónico de Barrido (EDAX) Universidad de Loma Linda, Ca, USA.
- Microscopio Eléctrico Global
- Cámara digital Sony Cybershot 20 MP, 20x zoom óptico.
- Modelo metálico de acero inoxidable con conducto prefabricado, con un radio de curvatura de 5mm y una angulación de curvatura de 60°.
- Ultrasonido "Sultan" 300 ProSonic.
- Motor Silver Reciproc de la casa comercial VDW.
- Motor Elements de la casa comercial SybronEndo.
- Aceite para lubricación de partes metálicas MidWest Plus.
- Alcohol isopropílico.

- Llave Allen.
- Cámara de video Sony HDR-CX350V.
- Vernier electrónico "Digital Caliper 0-150mm".
- Cronómetro digital.

13.3. Metodología

Tres grupos de instrumentos rotatorios de NiTi de similares calibres fueron utilizados: Reciproc R25 (VDW) ISO 25 y conicidad 0,08, WaveOne Primary (Dentsply) ISO 25 y conicidad 0,08 y TF Adaptive M-L 1 (SybronEndo) ISO 25 y conicidad 0,08.

Se asignaron grupos experimentales para la realización del estudio para evaluar la fatiga cíclica en canales simulados (seis instrumentos de cada sistema se evaluaron para resistencia a la fatiga cíclica, resultando en un total de 18 instrumentos, n=6) de la siguiente manera:

Con radio de curvatura de 5mm y 60° de ángulo de curvatura.

Grupo 1. 6 instrumentos Wave One Primary (25/08).

Grupo 2. 6 instrumentos Reciproc R25 (25/08).

Grupo 3. 6 instrumentos TF Adaptive M-L 1 (25/08).

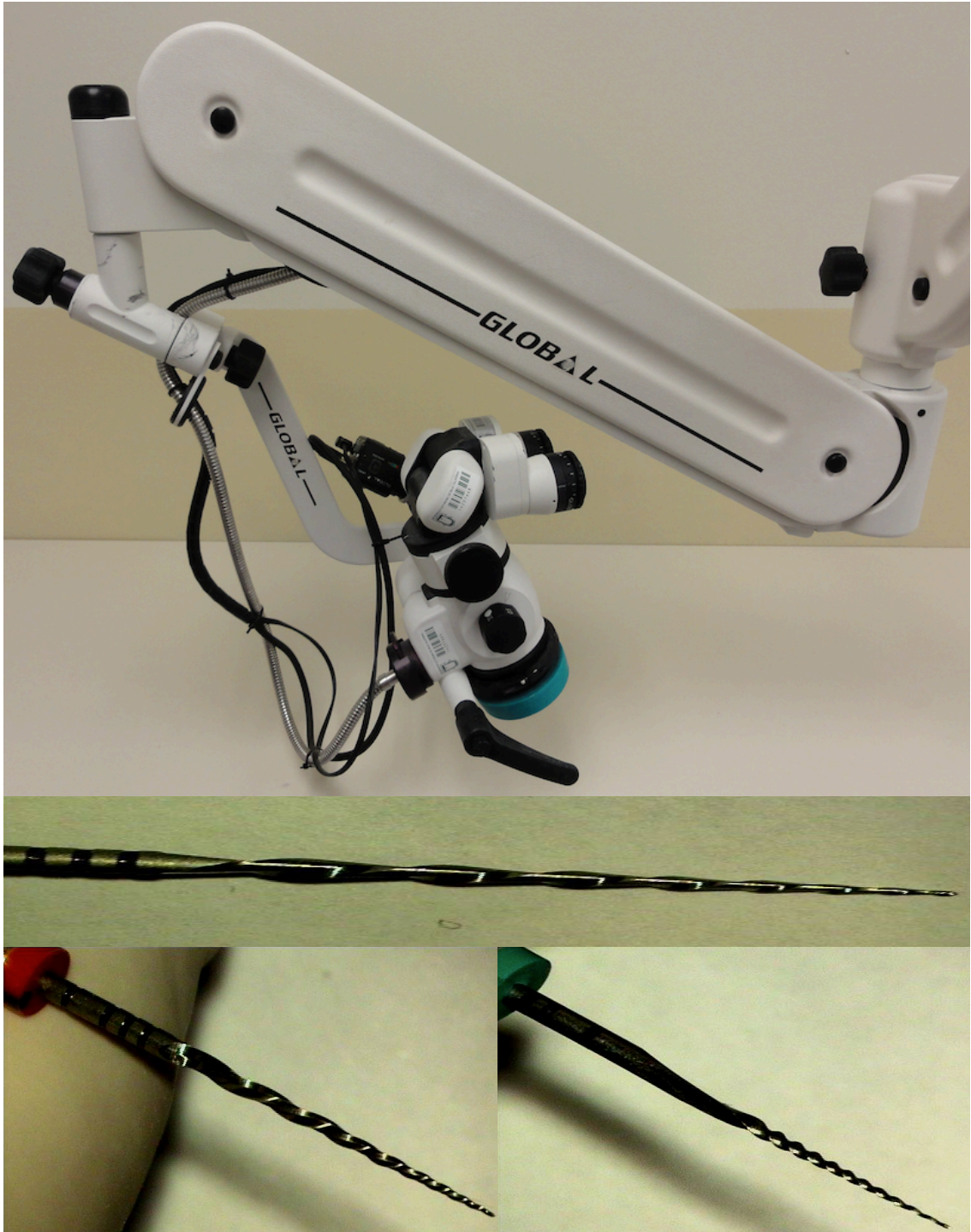


Anterior a la fase experimental de este estudio, se realizó una ultrasonidificación, con el único propósito de eliminar residuos adheridos a la superficie, producto del mismo proceso de maquinado, y de esta forma, observar que estas se encontraran ausentes de microfisuras y/o imperfecciones de fábrica, que pudieran propiciar a fracturas.

El protocolo de ultrasonidificación fue el de colocar los instrumentos en un baño ultrasónico por 25 minutos, limpiado con gasa empapada en alcohol del 70%, y se dejaron secar.

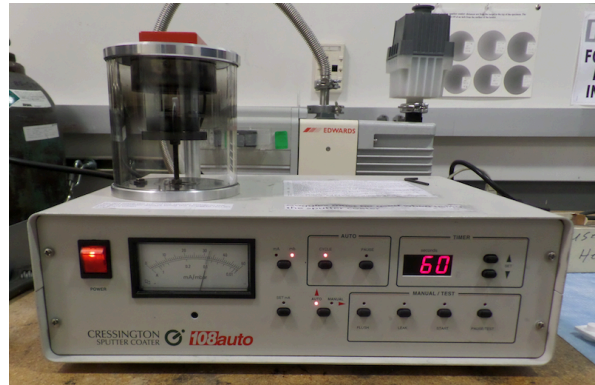
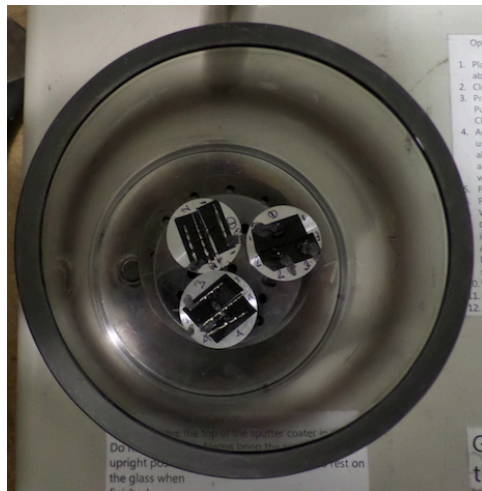


Se inspeccionaron todos los instrumentos utilizando microscopia electrónica (Global) y microscopia electrónica de barrido, para realizar el análisis morfológico y observar signos de deformaciones por defectos de fábrica.



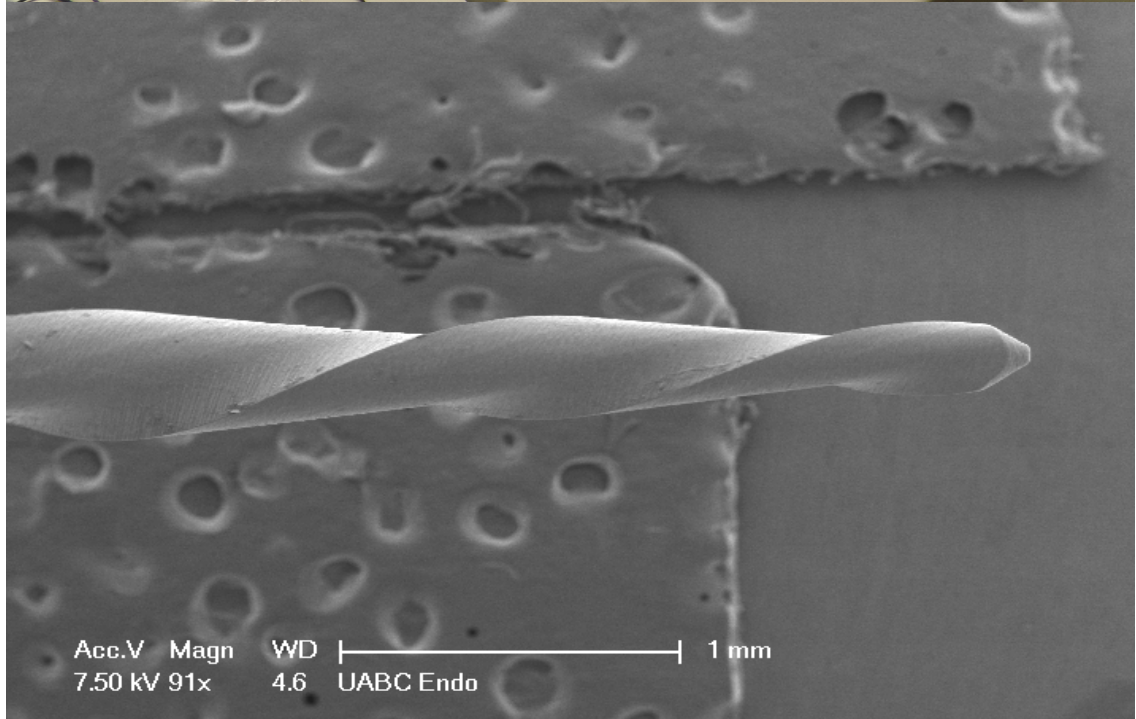
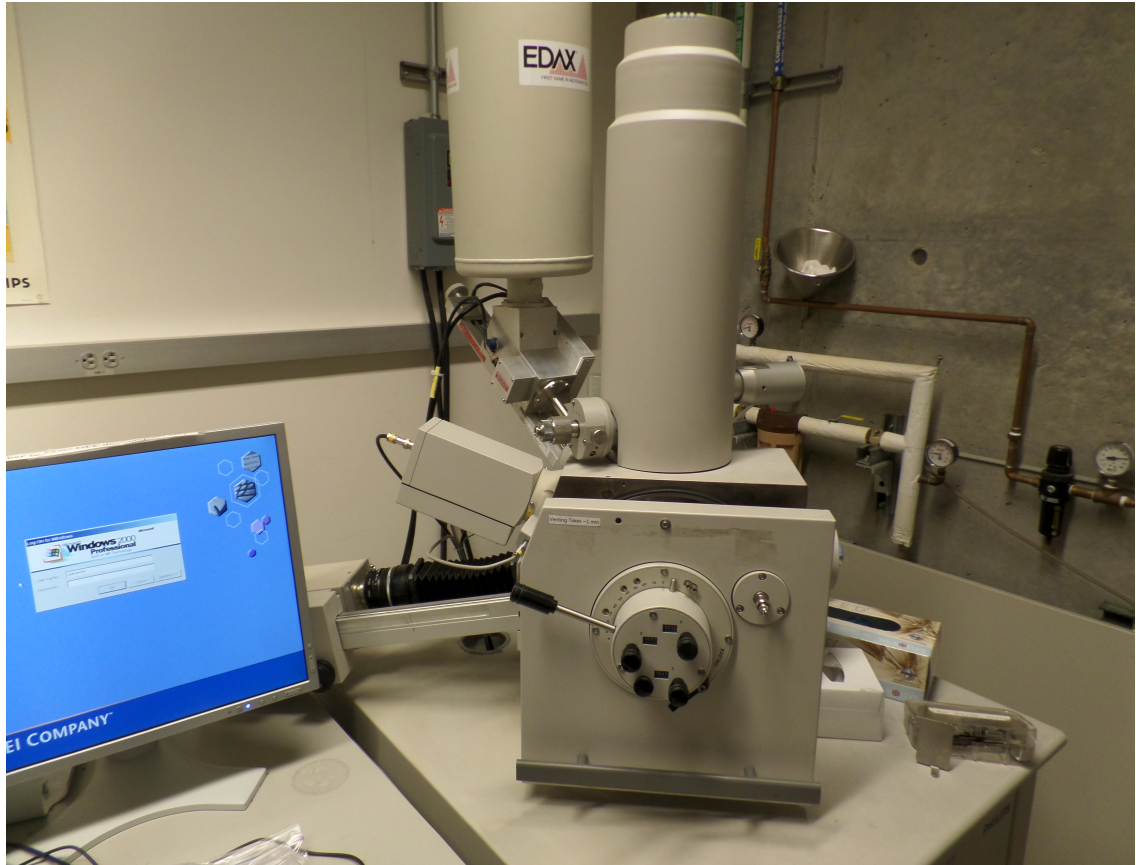
Para observarlos bajo microscopio electrónico se utilizaron seis magnificaciones: 0.33, 0.5, 0.8, 3.0, 2.0 y 1.25.

El análisis bajo el microscopio de escaneo de electrones se realizó en las instalaciones de la Universidad de Riverside, California en el área de CFAMM facilities bajo la supervisión de David E. Jaramillo DDS, Profesor Asociado de Endodoncia de la Escuela de Odontología en la Universidad de Loma Linda, California. Para análisis bajo el microscopio electrónico de barrido, las muestras se montaron en porta muestra sobre cinta adhesiva cubiertas de doble cara al carbón, posteriormente las mismas se metalizaron en una aleación de plata-paladio en el aparato "Cressington Sputter Coater" (108 auto).

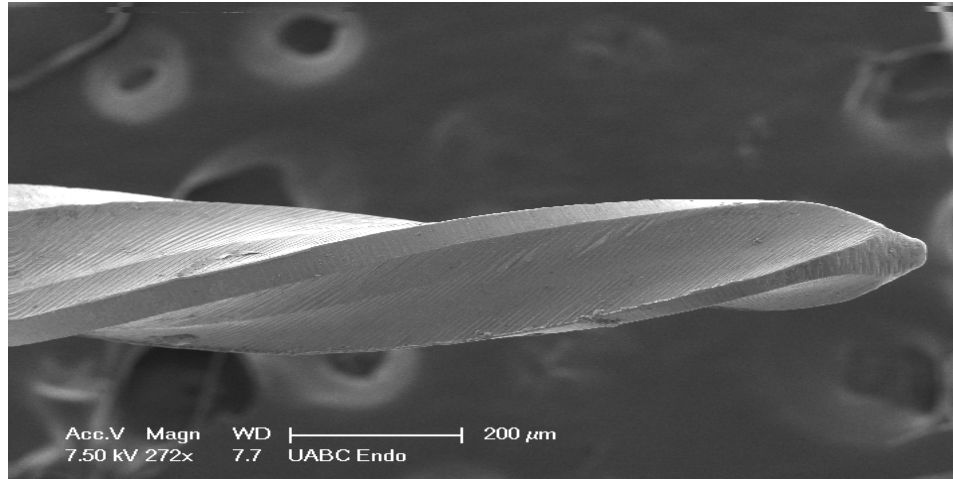


Una vez metalizadas, estas se montaron en el SEM para su análisis, se observaron a distintas magnificaciones. A 4 mm de la punta en tres magnificaciones: 500x, 1000x y 2000x.

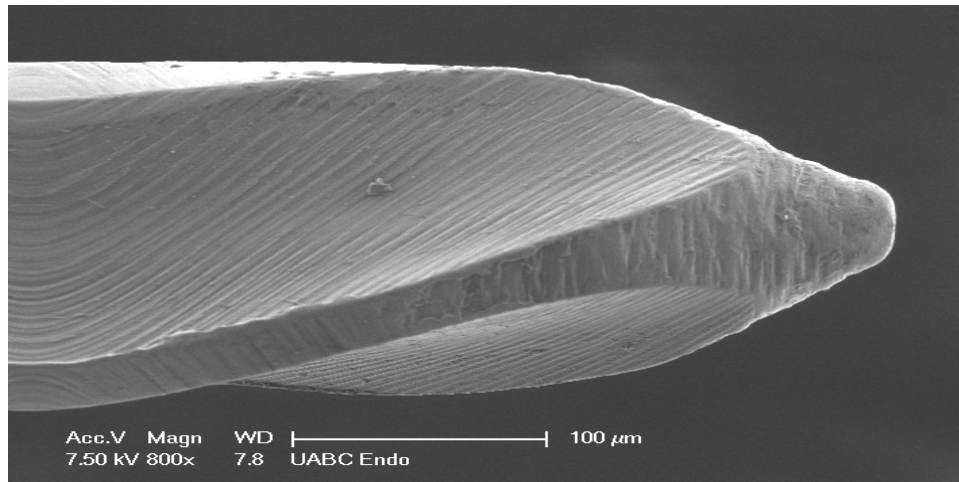
Todos los instrumentos que presentaron defectos fueron motivo de exclusión.



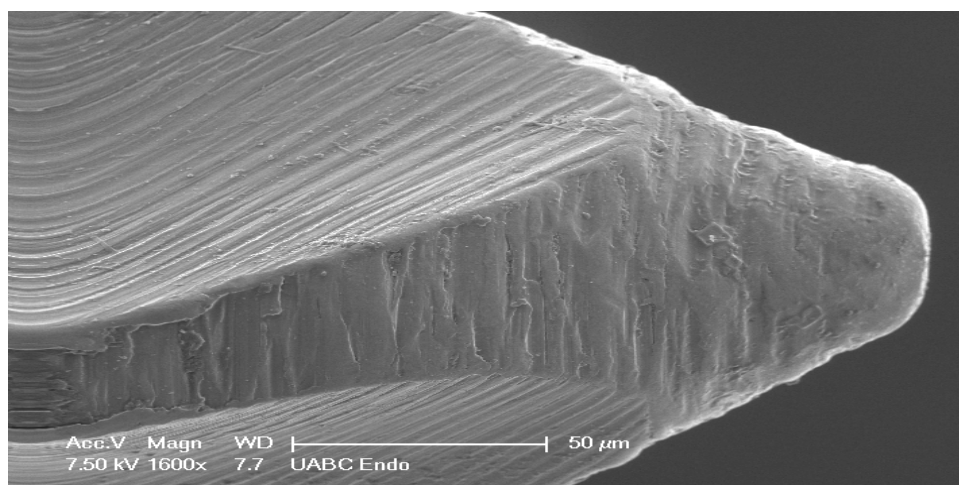
Acc.V Magn WD |-----| 1 mm
7.50 kV 91x 4.6 UABC Endo



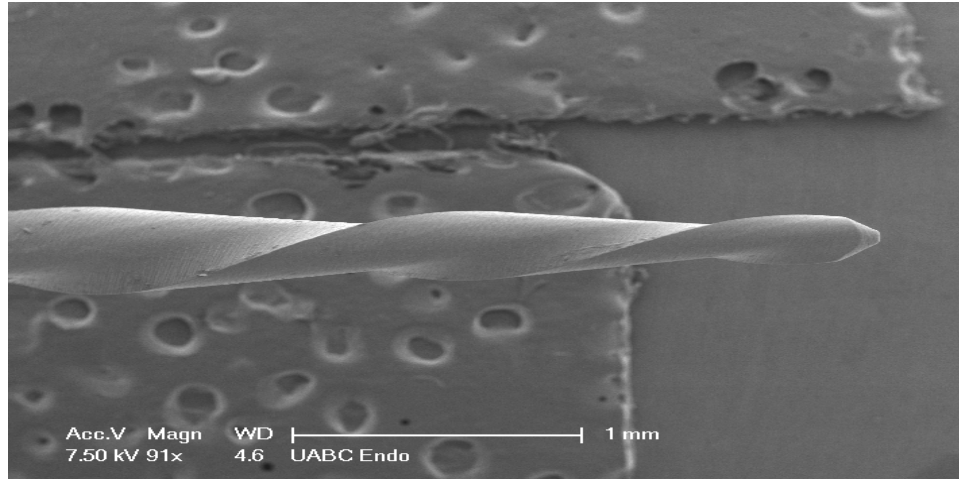
Vista bajo SEM de WaveOne a 500x



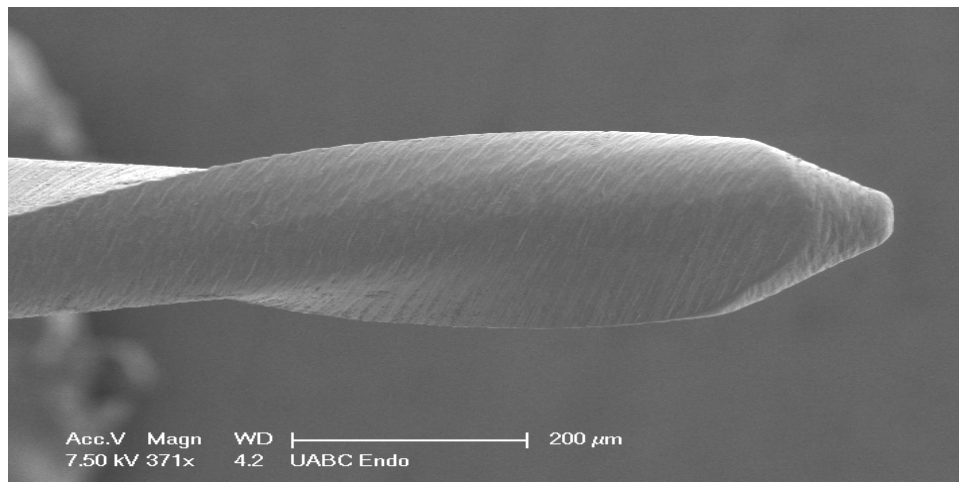
Vista bajo SEM de WaveOne a 1000x



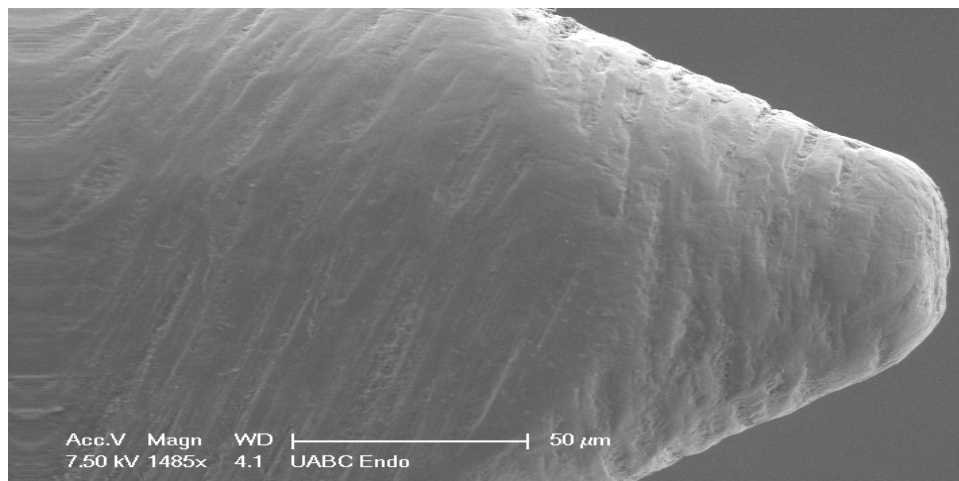
Vista bajo SEM de WaveOne a 2000x



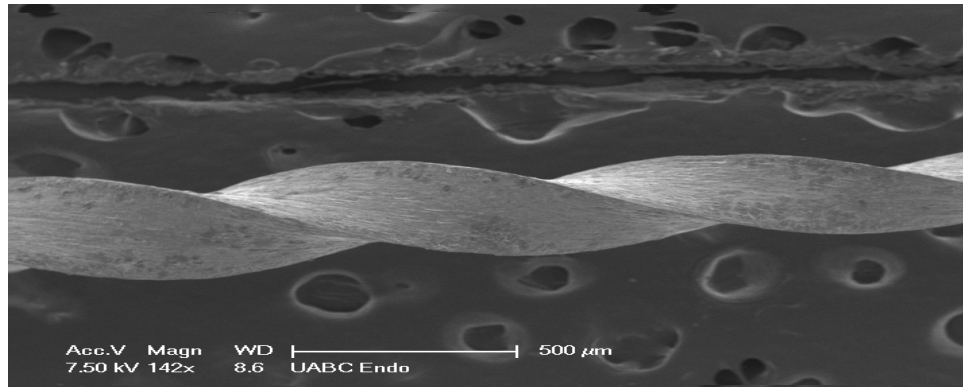
Vista bajo SEM de Reciproc a 500x



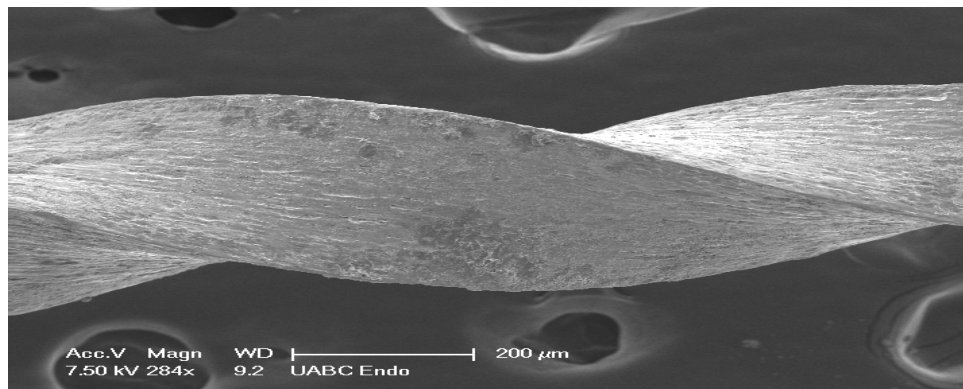
Vista bajo SEM de Reciproc a 1000x



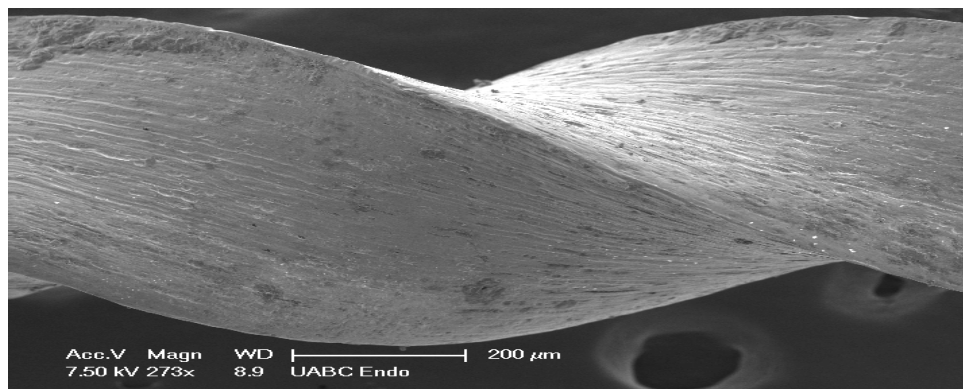
Vista bajo SEM de Reciproc a 2000x



Vista bajo SEM de TFA a 500x



Vista bajo SEM de TFA a 1000x



Vista bajo SEM de TFA a 2000x

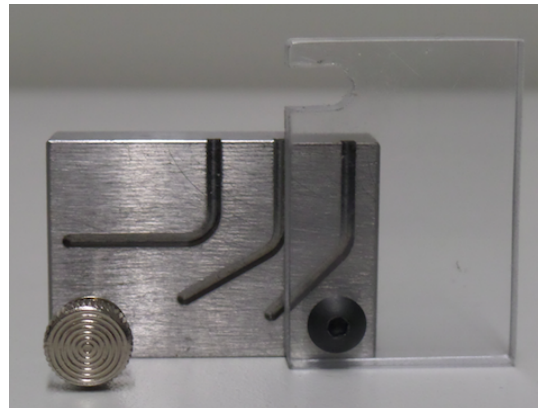
13.3.1. Prueba de fatiga cíclica

La prueba estática de fatiga cíclica se realizó en las instalaciones de SybronEndo en el laboratorio de Glendora, California bajo la supervisión del ingeniero Carlos Aloise, con la colaboración del gerente general de la casa comercial SybronEndo en Anaheim, California, el licenciado Steve Jones.

Los instrumentos se distribuyeron en 3 grupos experimentales ($n = 6$). Se realizó la prueba estática con el uso de un aparato realizado a la medida. Para esta prueba, se fabricó un bloque de acero inoxidable, donde se encontraban los conductos simulados.

El conducto artificial se diseñó reproduciendo el tamaño y conicidad del instrumento, con esto se le da una trayectoria que coincida a cada instrumento y así respetar las características de la curvatura seleccionada.

El canal simulado se realizó con un ángulo de curvatura de 60° y 5mm de radio de curvatura.



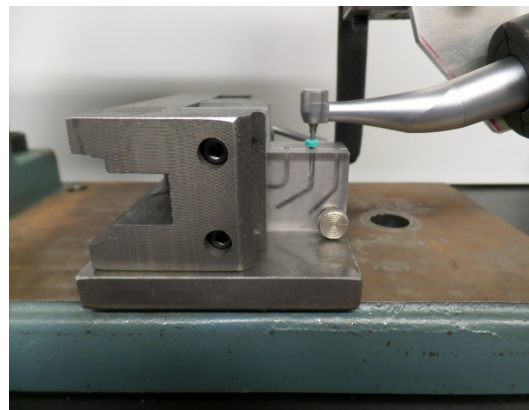
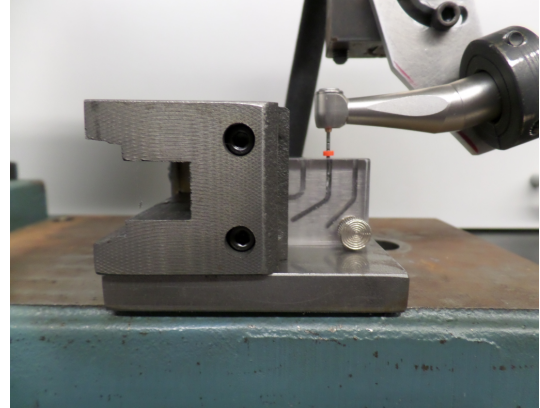
13.3.2. Prueba estática

Seis instrumentos de cada sistema de instrumentación se activaron utilizando un contrángulo de reducción 6:1 (Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim, Alemania) accionado por un motor de torque controlado Silver RECIPROC (VDW, Munich, Alemania) utilizando las configuraciones preestablecidas para cada uno ("RECIPROC ALL" para Reciproc y "WAVEONE ALL" para WaveOne, de 300 rpm y 350 rpm); se utilizó un contrángulo de reducción 8:1 accionado por un motor de torque controlado Elements Motor (SybronEndo, Orange, CA, USA) utilizando las configuraciones preestablecidas (TF-ADAPTIVE) para los instrumentos TFA (400rpm).

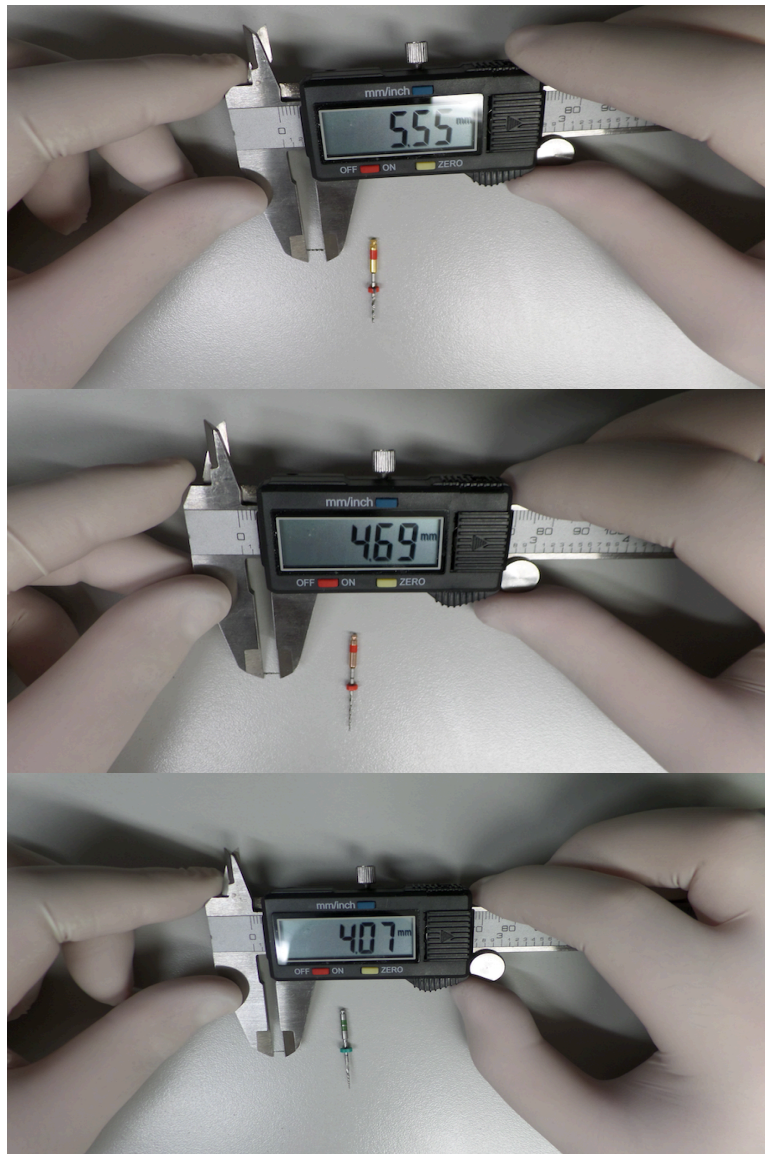
Todos los instrumentos se activaron siguiendo las instrucciones del fabricante hasta que ocurrió la fractura. Se realizó un aparato metálico con una base cuadrangular y un eje vertical el cual contenía una estructura metálica que permitía la fijación y el movimiento del contrángulo de reducción del micromotor; se colocó una tapa de acrílico para observar los instrumentos en el canal y detener los fragmentos fracturados.



Los instrumentos se rotaron libremente en el canal simulado, el cual fue rociado por aceite sintético (Midwest Plus) para reducir la fricción y producción de calor, como lo recomendó Grande y cols.⁽³²⁾. Cada instrumento se posicionó en un contrángulo reductor y se introdujo en el canal a una longitud de 18mm la cual se aseguró ajustando una llave en la porción superior del artefacto, y se reiteró con la colocación de tope en el instrumento rotatorio. El tiempo se grabó con ayuda de un cronómetro y se paró en cuanto se detectó la fractura visualmente y mediante audición. Para evitar error humano, se realizó una grabación en video de manera simultánea, y las grabaciones se observaron posteriormente para asegurar que los tiempos concordaran con el momento de la separación de la lima.

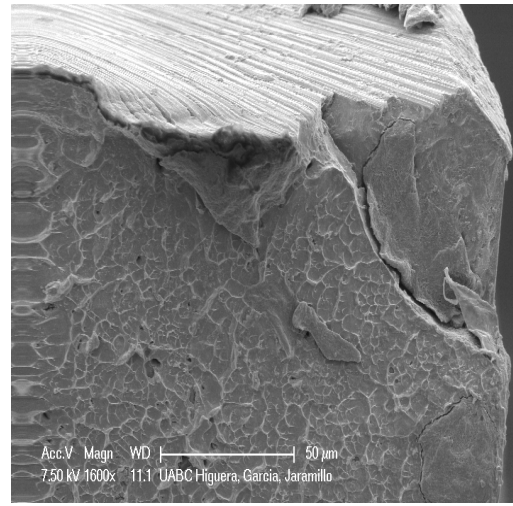
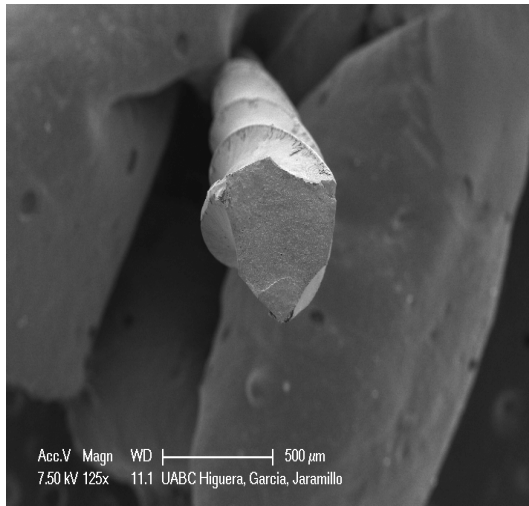


El número de ciclos hasta la fractura (NCF) de cada instrumento se calculó utilizando la siguiente fórmula: tiempo total (segundos) para la fractura multiplicado por la velocidad racional (El fabricante menciona que "RECIPROC ALL" posee una velocidad de 300 rpm y "WAVEONE ALL" posee una velocidad de 350 rpm, mientras que en Elements Motor la función "ADAPTIVE MOTION" posee una velocidad de 400 rpm). La longitud de la punta de la lima fracturada se midió utilizando un microcalibrador electrónico.

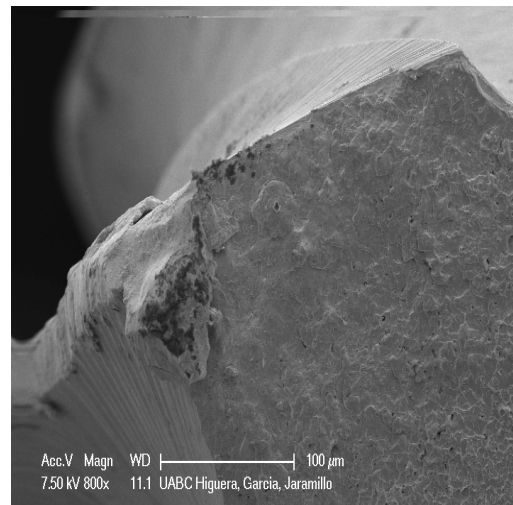
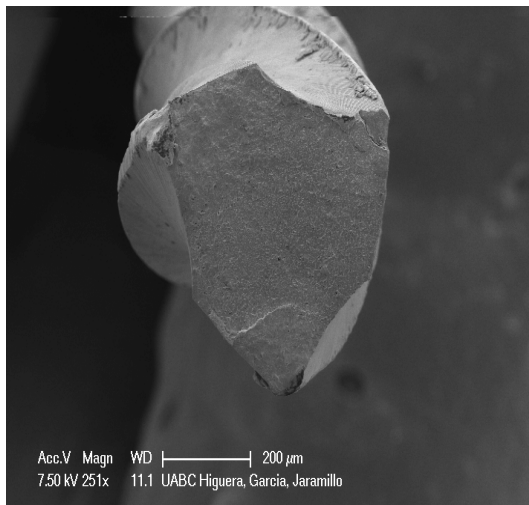


Posterior a la fractura se observaron los instrumentos al microscopio electrónico de barrido para observar el patrón de fractura.

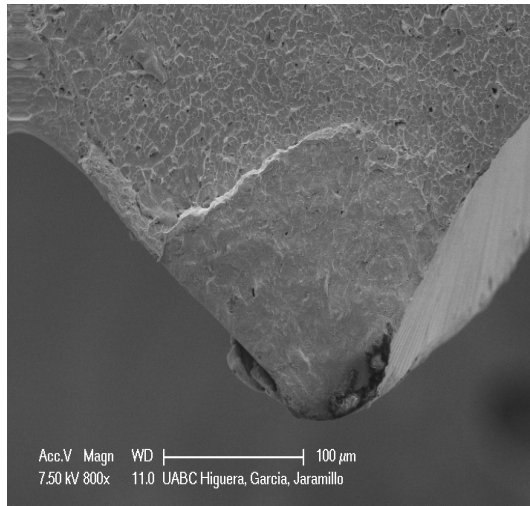
La inspección de la porción fracturada bajo el SEM indicó que todos los instrumentos mostraron características morfológicas de fractura dúctil



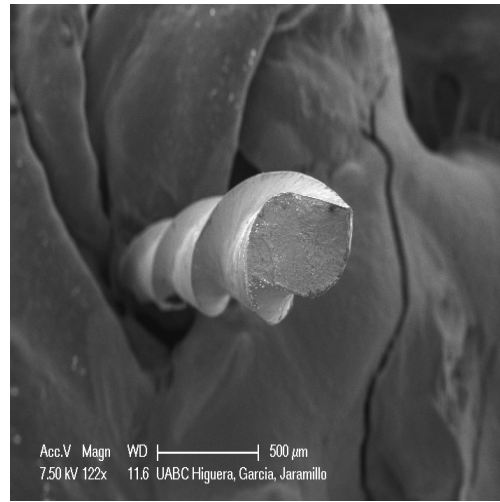
Vista bajo SEM de WaveOne a 250x Vista bajo SEM de WaveOne a 500x



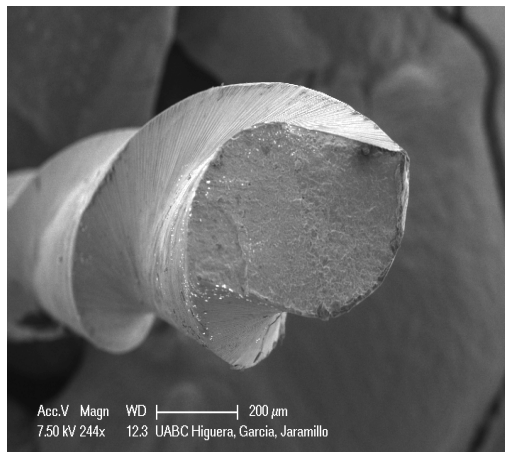
Vista bajo SEM de WaveOne a 1000x Vista bajo SEM de WaveOne a 2000x



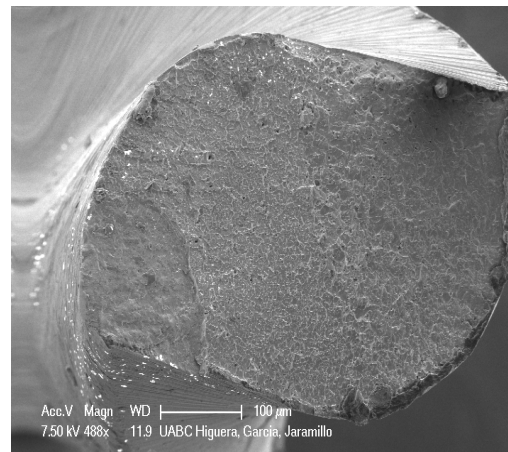
Vista bajo SEM de WaveOne a 2000x



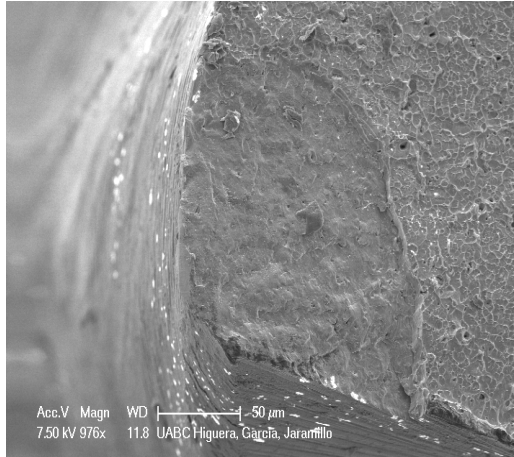
Vista bajo SEM de Reciproc a 250x



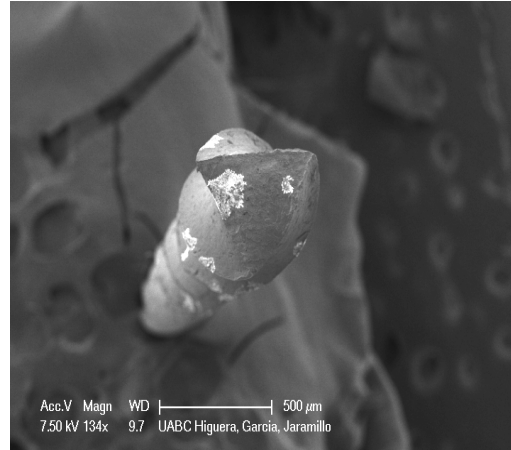
Vista bajo SEM de Reciproc a 500x



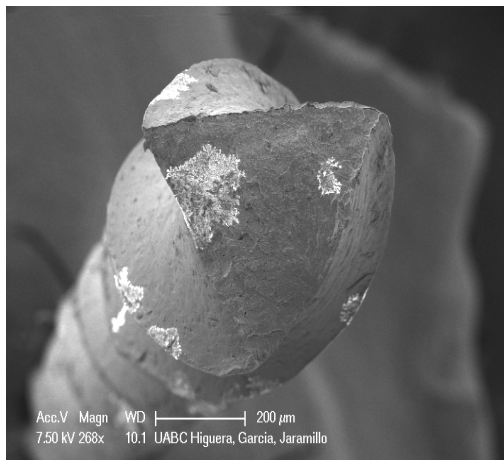
Vista bajo SEM de WaveOne a 1000x



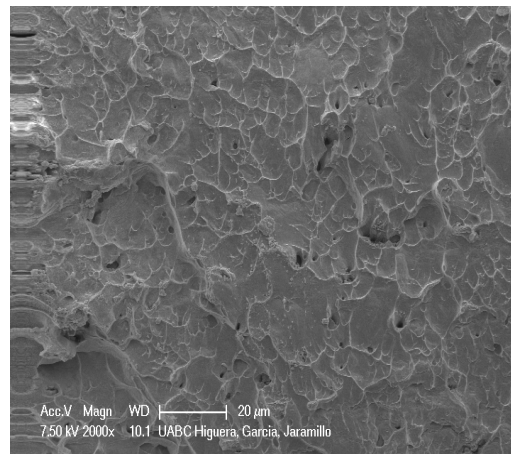
Vista bajo SEM de Reciproc a 2000x



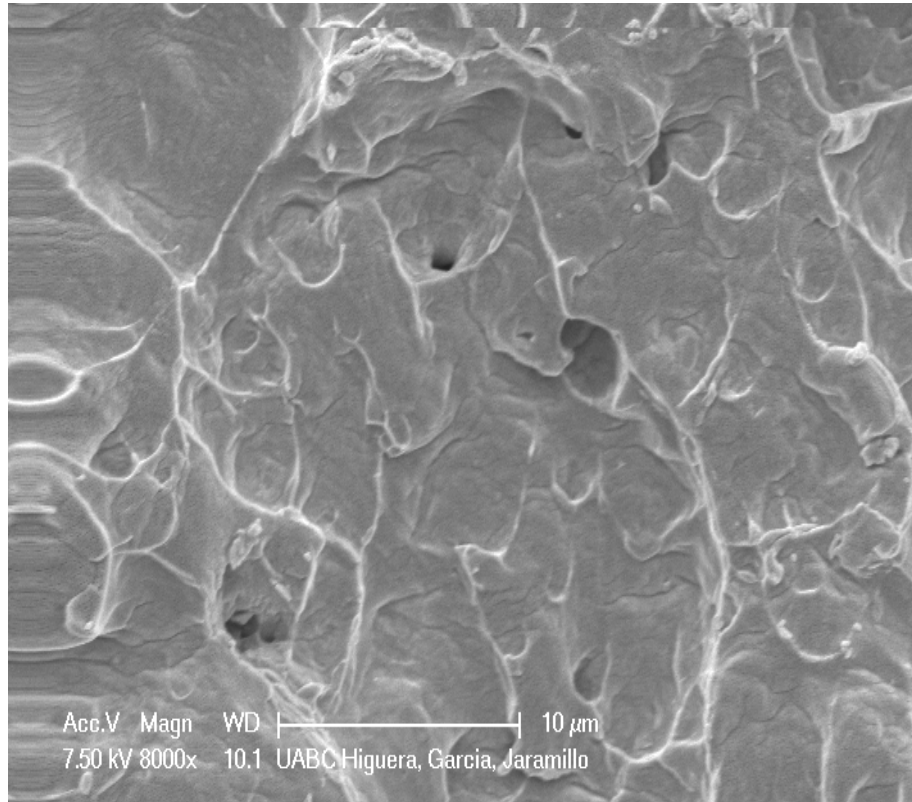
Vista bajo SEM de TFA a 250x



Vista bajo SEM de TFA a 500x



Vista bajo SEM de TFA a 1000x



Vista bajo SEM de TFA a 2000x

14. RESULTADOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Tiempo a la Fractura

Segundos	WaveOne	Reciproc	Twisted File Adaptive
Muestra	5mm	5mm	5mm
1	212	257	197
2	217	267	199
3	201	275	200
4	219	255	202
5	196	273	201
6	220	263	200

Tabla de resultados en segundos de tiempo hasta la fractura

NCF

El número de ciclos hasta la fractura (NCF) de cada instrumento se calculó utilizando la siguiente fórmula: tiempo total (segundos) para la fractura multiplicado por la velocidad racional (El fabricante menciona que "RECIPROC ALL" posee una velocidad de 300 rpm y "WAVEONE ALL" posee una velocidad de 350 rpm, mientras que en Elements Motor la función "ADAPTIVE MOTION" posee una velocidad de 400 rpm)

NCF = TIEMPO TOTAL PARA FRACTURA (segundos) x VELOCIDAD (rpm)

WaveOne

- | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1. 3'32"32 = 212" | 2. 3'37"94 = 217" | 3. 3'21"53 = 201" |
| 4. 3'39"55 = 219" | 5. 3'16"23 = 196" | 6. 3'40"56 = 220" |

Reciproc

1. 4'17"61 = 257" 2. 4'27"56 = 267" 3. 4'35"91 = 275"
4. 4'15"36 = 255" 5. 4'33"49 = 273" 6. 4'23"88 = 263"

Twisted File Adaptive

1. 3'17"37 = 197" 2. 3'19"87 = 199" 3. 3'20"58 = 200"
4. 3'22"42 = 202" 5. 3'21"38 = 201" 6. 3'20"98 = 200"

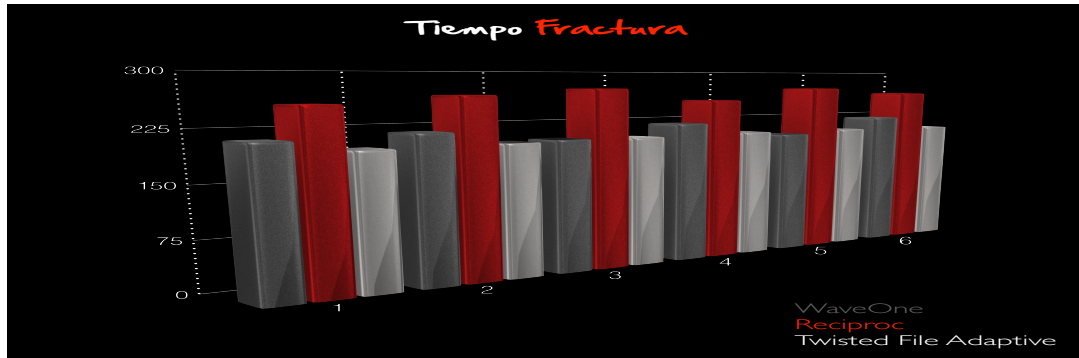
Longitud de la Fractura

mm	WaveOne	Reciproc	TwistedFileAdaptive
Muestra	5mm	5mm	5mm
1	4.93	4.69	4.07
2	5.55	6.27	6.40
3	5.75	4.64	6.65
4	6.59	5.27	6.94
5	6.17	4.87	6.03
6	5.67	5.22	5.48

Tabla de resultados de longitud de porción fracturada en mm

Tiempo a la Fractura

Ángulo de curvatura de 60° y radio de curvatura de 5mm



PROMEDIO	WaveOne	Reciproc	Twisted File Adaptive
segundos	210.83	265	199.83

Tabla de resultados de tiempo hasta fractura en segundos

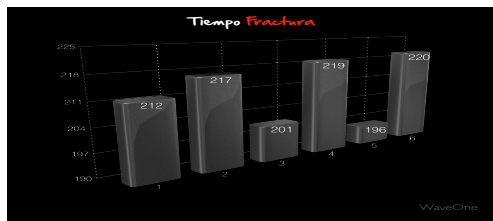


Tabla de resultados W.O.



Tabla de resultados Reciproc

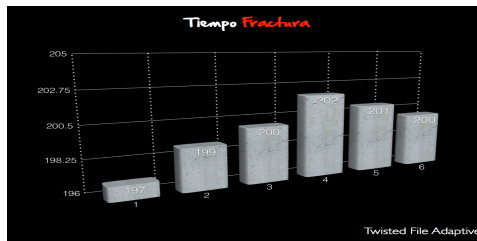


Tabla de resultados T.F.A.

NCF = Número de Ciclos hasta la Fractura

Ángulo de curvatura de 60° y radio de curvatura de 5mm

NCF	WaveOne	Reciproc	Twisted File Adaptive
Muestra	5mm	5mm	5mm
1	74200	77100	78800
2	75950	80100	79600
3	70350	82500	80000
4	76650	76500	80800
5	68600	81900	80400
6	77000	78900	80000

NCF

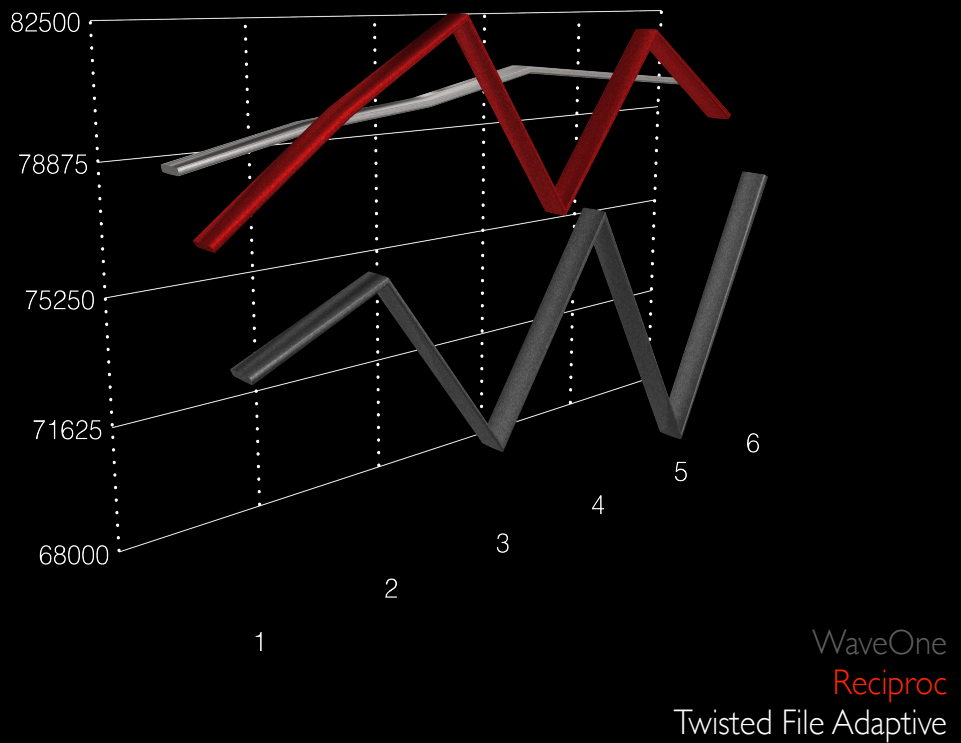


Tabla de resultados de valor NCF

PROMEDIO	WaveOne	Reciproc	Twisted File Adaptive
NCF	73791	79500	79933

Tabla de resultados de valor NCF

Longitud de la Fractura

Ángulo de curvatura de 60° y radio de curvatura de 5mm

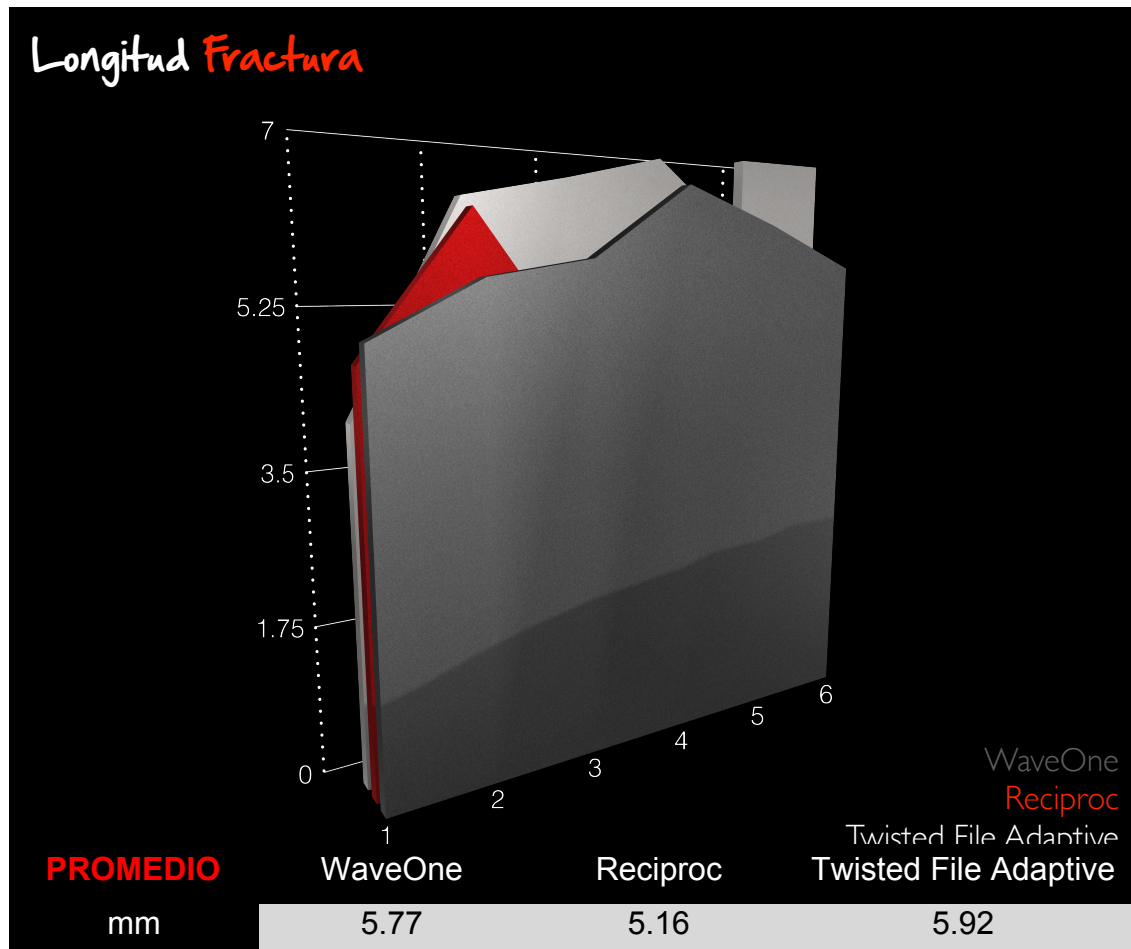


Tabla de resultados de valor de longitud de fractura en mm

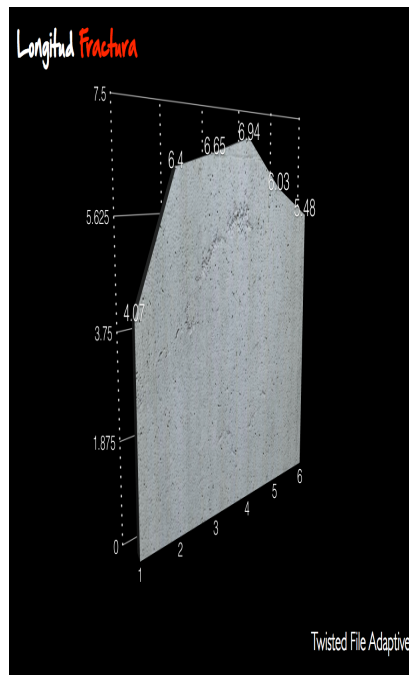
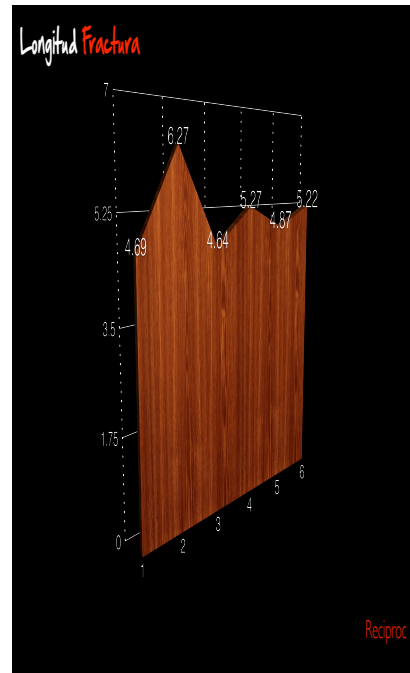
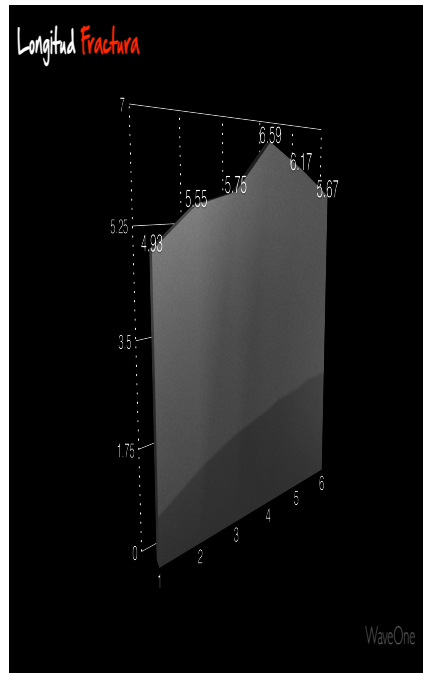


Tabla de resultados de valor de la porción fracturada en mm

Tiempo a la Fractura

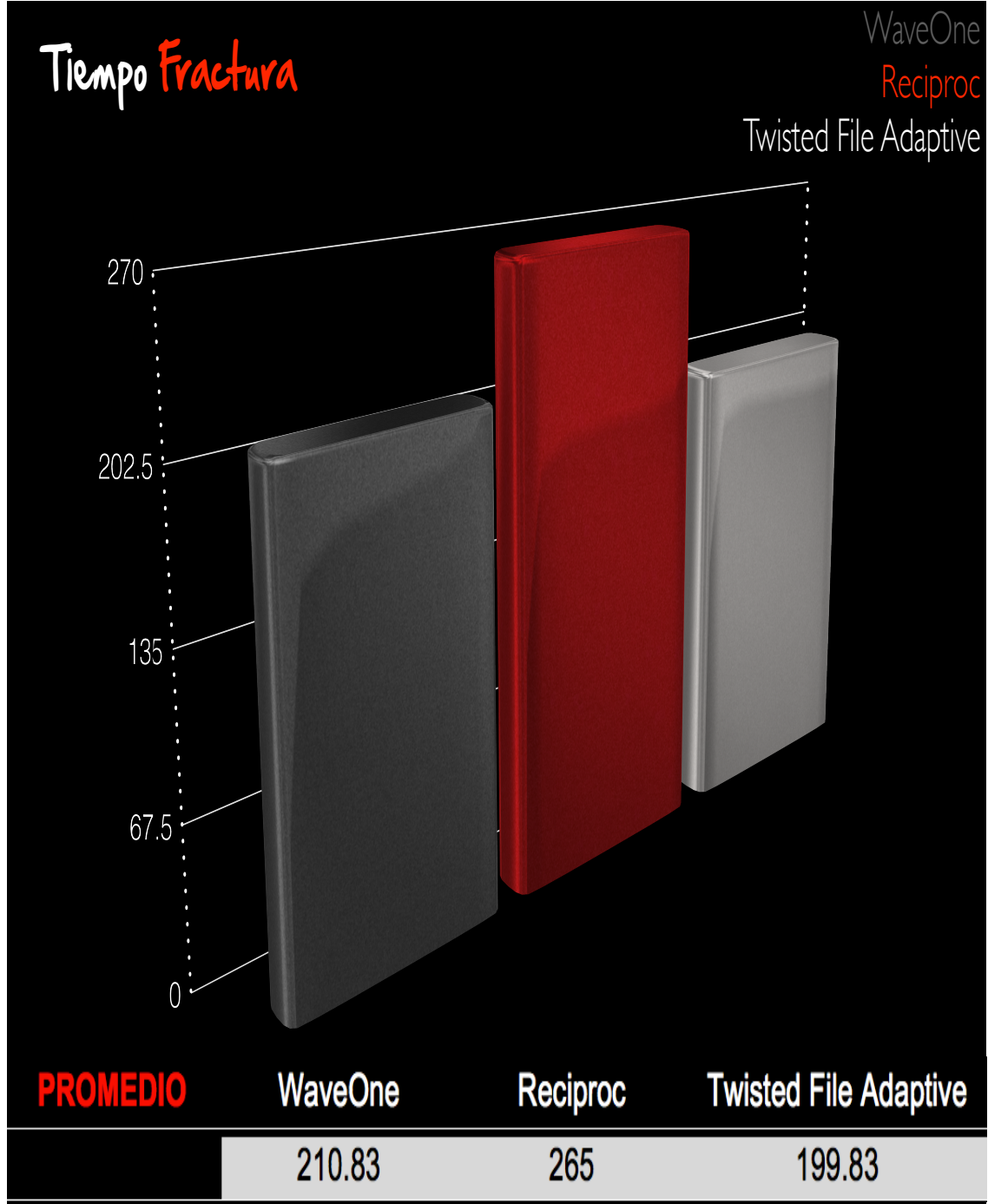


Tabla de resultados del tiempo hasta la fractura

NCF = Número de Ciclos hasta la Fractura

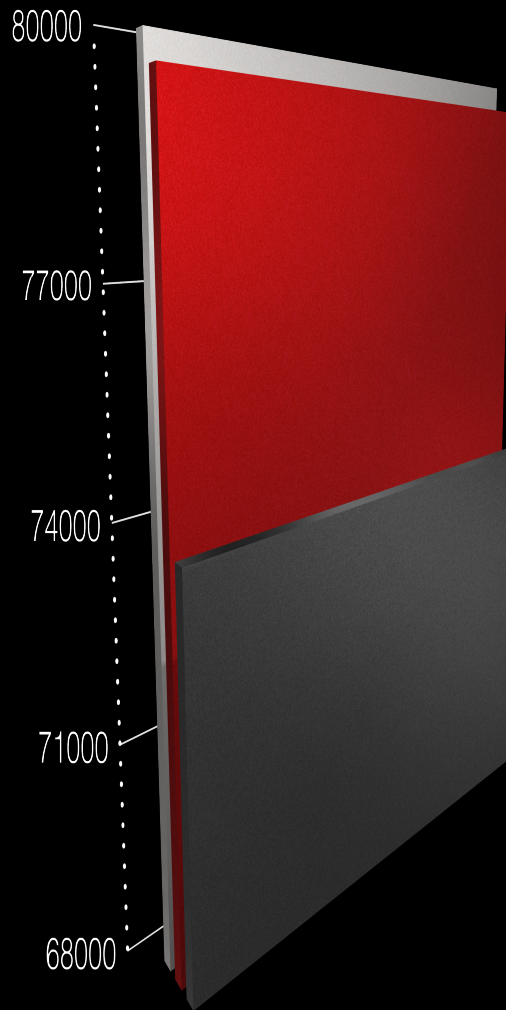
NCF = Número de Ciclos hasta la Fractura

Tiempo total hasta la fractura (segundos) x velocidad (rpm)

WaveOne

Reciproc

Twisted File Adaptive



PROMEDIO

WaveOne

Reciproc

Twisted File Adaptive

73791

79500

79933

Tabla de resultados de valor NCF

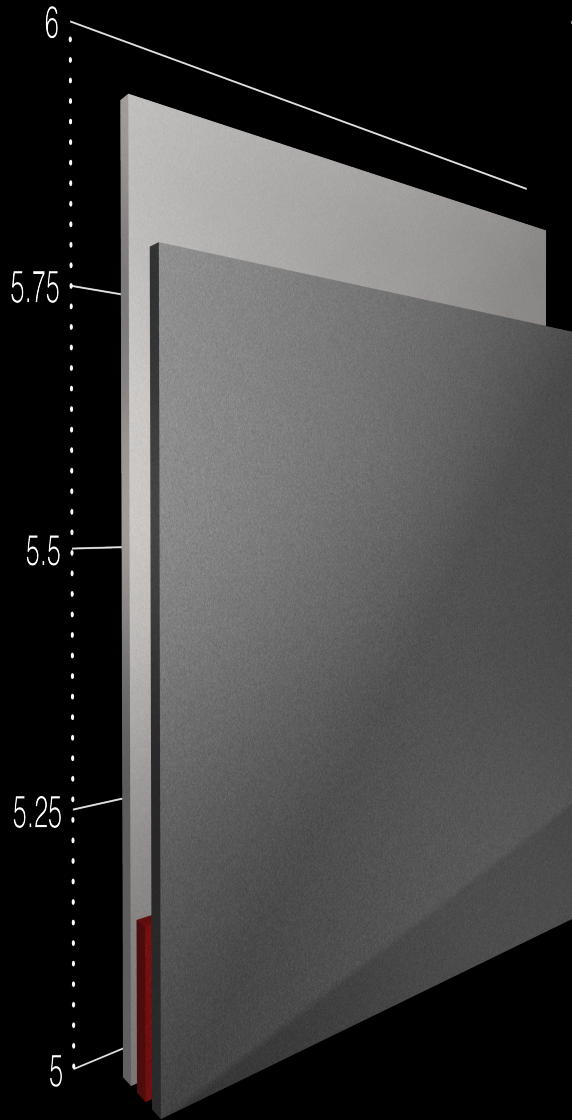
Longitud de la Fractura

Longitud Fractura

WaveOne

Reciproc

Twisted File Adaptive



PROMEDIO

WaveOne

Reciproc

Twisted File Adaptive

mm

5.77

5.16

5.92

Tabla de resultados de la porción fracturada en mm

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó prueba T Student para muestras independientes, comparando dos variables a la vez. Se utilizó el programa SPSS 11.0 en las instalaciones de la Universidad Nacional Autónoma de México con la ayuda del Dr. Luis Gaytán.

NCF

TIPO	Media	N	Desv. típ.	Mínimo	Máximo	Rango
WaveOne	73791.6667	6	3523.83551	68600.00	77000.00	8400.00
Reciproc	79500.0000	6	2459.26818	76500.00	82500.00	6000.00
Twisted File Adaptive	79933.3333	6	688.96057	78800.00	80800.00	2000.00
Total	77741.6667	18	3723.42545	68600.00	82500.00	13900.00

WaveOne vs. Reciproc

	TIPO	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
NCF	WaveOne	6	73791.6667	3523.83551	1438.59982
	Reciproc	6	79500.0000	2459.26818	1003.99203

Prueba t para muestras independientes:

p 0.009; 10 grados de libertad. lo que significa que el instrumento WaveOne se fractura en menor tiempo que el instrumento Reciproc, y esta disminución es estadísticamente significativa.

WaveOne vs. Twisted File Adaptive

	TIPO	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
NCF	WaveOne	6	73791.6667	3523.83551	1438.59982
	Twisted File Adaptive	6	79933.3333	688.96057	281.26697

Prueba t para muestras independientes:

p 0.002; 10 grados de libertad. lo que significa que el instrumento WaveOne se fractura en menor tiempo que el instrumento Twisted File Adaptive y esta disminución es estadísticamente significativa.

Reciproc vs. Twisted File Adaptive

	TIPO	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
NCF	Reciproc	6	79500.0000	2459.26818	1003.99203
	Twisted File Adaptive	6	79933.3333	688.96057	281.26697

Prueba t para muestras independientes:

p 0.686; 10 grados de libertad. lo que significa que el instrumento Reciproc y el instrumento Twisted File Adaptive se fracturan al mismo tiempo, los resultados de esta comparación no son estadísticamente significativos.

15. DISCUSIÓN

Este estudio comparó la resistencia a la fatiga cíclica estática de WaveOne Primary, Reciproc R25 en movimiento recíprocante y Twisted File Adaptive M-L 1 en movimiento adaptativo.

Los 2 instrumentos recíprocantes (Wave One y Reciproc) utilizados en el presente estudio fueron seleccionados debido a que son los más comerciales y principales disponibles para uso en movimiento recíprocante. El instrumento TFA se seleccionó debido a que es el único disponible para movimiento adaptativo.

El instrumento Reciproc presenta una geometría en forma de S itálica con dos navajas de corte. El instrumento TFA presenta una sección equilátera triangular. Mientras el instrumento WaveOne presenta una sección convexa triangular modificada en la porción media y coronal del instrumento.

De acuerdo con Yao y cols. ⁽³⁹⁾, el uso de canales artificiales estandarizados en experimentos de fatiga cíclica minimiza la influencia de otras variables.

Li Um y cols. documentaron que se han utilizado severo número de aparatos ⁽⁴⁰⁾ para investigar *in vitro* la resistencia a la fatiga cíclica en modelos estáticos y dinámicos. Gavini G y cols. explicaron la importancia de seleccionar adecuadamente el tipo de prueba (estática o dinámica) para el experimento. En este estudio se decidió investigar la fatiga cíclica en prueba estática debido que aunque un modelo dinámico puede aproximarse bastante al movimiento de cepillado o de picoteo ⁽⁴¹⁾, tiene limitaciones porque los instrumentos que son

probados no tienen la constricción en una trayectoria precisa. Por otra parte, la amplitud y velocidad del movimiento axial pueden estandarizarse en un modelo de estudio dinámico, pero estas variables son completamente subjetivas, y es dudable que sean constante y reproducibles en la práctica clínica debido a que el movimiento de entrada y salida es controlado manualmente. Tal como lo explicaron Arias A y cols. ⁽⁴²⁾

El resultado de este estudio mostró que la resistencia estática a la fatiga cíclica de Reciproc R25 y TFA M-L 1 fue significativamente mayor que WaveOne Primary ($P > 0.009$ y $P > 0.002$). Por ello, la primer hipótesis y la hipótesis nula fueron rechazadas. Estudios previos demostraron que Reciproc R25 tiene una mayor resistencia a la fatiga cíclica que WaveOne Primary ⁽³⁾, sin embargo, no existe precedente de evaluación de movimiento recíprocante vs. movimiento adaptativo.

El resultado arrojó también que TFA M-L 1 fue más resistente que Reciproc R25 ($P > 0.686$), por ello, la segunda hipótesis fue rechazada, quedando como hipótesis aprobada la número 3. No hubo diferencia significativa entre estos dos instrumentos.

16. CONCLUSIONES

En conclusión, bajo estas condiciones experimentales, tanto movimiento recíprocante como movimiento adaptativo incrementan la resistencia a la fatiga cíclica en comparación con la rotación continua, sin embargo, cuando se utilizó de manera adecuada la rotación clínica, la resistencia a la fatiga cíclica no mostró una diferencia significativa entre los instrumentos, a excepción de WaveOne Primary, la cual arrojó el valor de NCF más bajo.

La fractura de instrumentos por fatiga cíclica hoy en día es una consecuencia poco probable, es un hecho que la principal razón para que ocurra la misma, es debido a torsión, como consecuencia de un mal uso del operador en la conformación del sistema de conductos radiculares.

17. AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primeramente a la vida por permitirme haber llegado y culminado esta hermosa meta en mi vida, la cual estoy seguro que me hará crecer en todos los sentidos, tanto profesional, como personalmente.

La vida misma me puso en los brazos de mi madre, a quien le agradezco por ser el pilar y el principal motivo por el cual yo hoy pueda estar en donde estoy ya que se empeñó en demostrar que puede ser madre y padre en casa y hacer de sus dos hijos, unas personas exitosas. Con ella, agradezco a mi hermana la cual ha estado conmigo en este largo caminar, dándome ánimos para seguir adelante ya que soy su ejemplo y eso es una gran responsabilidad.

Agradezco a mi padre por aportar para siempre estar en el camino del estudio y con ello lograr superarme día a día.

Fue también la vida, quien me puso en mi camino a una hermosa mujer, tanto por fuera, como por dentro, hace ya casi 9 años, ella me ha mostrado su apoyo incondicional, y con su amor, me ha dado fuerzas para querer salir adelante y espero en un futuro siga perteneciendo a mi vida y sea el motor para querer tener una vida mejor para ofrecerle, y con ella formar una familia.

Agradezco también a mis amigos, los cuales cuento con los dedos de mis manos, son pocos, pero con ellos no necesito más, siempre al pie del cañón y eso es un regalo de la vida misma.

Directamente, un reconocimiento de gratitud a la persona responsable por mi entrada al posgrado, mi maestra y amiga, y ahora madrina, la Dra. Ana

Gabriela Carrillo Vázquez, ya que ella fue quien tomó la última palabra para la selección del alumnado en su posgrado, razón por la cual le estaré eternamente agradecido, esperando siempre poner en alto el nombre del posgrado para que ella se sienta orgullosa de haber tomado esa decisión ante mi solicitud de ingreso.

Un gran posgrado, se rodea de grandes maestros, los cuales son el pilar para mi educación, entre ellos tengo la gran satisfacción de tener amistades fuertes, y coinciden en ser aparte mis sinodales, M.O. María Elena de los Ángeles Hofmann Salcedo y C.D.E.E. Julio César García Briones, ellos me apoyaron desde mi licenciatura y siempre lucharon para que yo aspirara a más, y se han encargado de siempre mantener mis pies sobre la tierra.

Este posgrado me deja realmente orgulloso de haber formado parte de el, me dio 7 compañeros que terminaron siendo mis hermanos, pues convivimos en viajes, y en mayor tiempo que con todas las demás personas, a ellos les agradezco bastante.

Finalmente, y no por ello menos importante, si no todo lo contrario, agradezco a las personas que formaron parte directamente en este estudio que ahora puedo culminar, y este experimento también es de ellos, a continuación los menciono:

Mi gran amigo, mentor e ídolo, el Dr. Jorge Vera, maestro invitado del posgrado y conferencista internacional, por sus aportaciones didácticas y cierta información para este estudio, y por siempre estar ahí cuando lo necesito.

Otro gran amigo, el cual también es mi maestro, el Dr. David Jaramillo, ex-profesor asociado de endodoncia en la escuela de odontología en la Universidad de Loma Linda, California al momento de la realización del estudio, actualmente se encuentra como profesor asociado en la Universidad de Houston. El me brindó su apoyo en el proceso del análisis bajo Microscopio de Escaneo de Electrones en las instalaciones de la Universidad de Riverside, California.

Un especial reconocimiento a una persona que me ha ayudado de la manera más desinteresada posible, el Licenciado Steve Jones, Gerente General de la casa comercial SybronEndo, mi gran amigo que me brindó sus instalaciones en los laboratorios de esta compañía reconocida dentro de las 3 primeras casas comerciales en materiales endodónticos, ubicadas en Orange County, Anaheim, California y Glendora, California, lugar en el cual desarrollé mi metodología, y gracias a el, este estudio tiene una enorme validez.

Mi compañero de travesía, el C.D.E.E. Julio García el cual estuvo conmigo en todos los viajes para llevar a cabo la realización de mi estudio.

Inicié estos agradecimientos, agradeciendo a la vida, y finalizo contento de haber coincidido en momentos con mis seres queridos, y espero que estén todos muy orgullosos de mí, así como yo lo estoy de ellos.

18. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. *Álvaro Cruz González, Jorge Vera Rojas, Armando Lara Rosano, Benjamín Briseño Marroquín, Elisa Betancourt Lozano.* "Endodoncia, fundamentos científicos para la práctica clínica". Amateditorial, México 2012, 1ª edición, página 105.
2. *Schilder H.* "Cleaning and shaping the root canal". Dent Clin, North America 1974, Ed. 18, pages 269-296.
3. *G. Plotino, N. M. Grande, M. C. Melo, M. G. Bahia, L. Testarelli & G. Gambarini.* "Cyclic Fatigue of NiTi Rotary Instruments in a Simulated Apical Abrupt Curvature". International Endodontic Journal - 43, 226-230, 2010.
4. *Zuolo, M.L., Walton, R. E.* "Deterioro de los instrumentos con el uso: comparación entre níquel-titanio y el acero inoxidable". Quintessence (edición especial). Volumen 11, Número 4, 2005.
5. *Gustavo De-Deus, DDS, MS, PhD, Victor Talarico Leal Vieira, PhD, Emmanuel João Nogueira da Silva, PhD, Helio Lopes, PhD, Carlos Nelson Elias, PhD, y Edson Jorge Moreira, PhD,* "Bending and Resistance and Dynamic and Static Cyclic Fatigue Life of Reciproc and WaveOne Large Instruments". JOE - Volume , Number , 2013 ARTICLE IN PRESS.
6. *Eugenio Pedullà, PhD, DDS, Nicola M. Grande, PhD, DDS, Gianluca Plotino, PhD, DDS, Gianluca Gambarini, PhD, DDS, MD, and Ernesto Rapisarda, MD, DDS.* "Influence of Continuous or Reciprocating Motion on Cyclic Fatigue Resistance of 4 Different Nickel-Titanium, Rotary Instruments". JOE - Volume 39, Number 2, February 2013.
7. *Juan José Pérez-Higueras, DDS, Ana Arias, DDS, PhD, and José C. de la Macorra, DDS, MS, PhD,* "Cyclic Fatigue Resistance of K3, K3XF, and Twisted File Nickel-Titanium Files under Continuous Rotation or Reciprocating Motion". JOE - Volume 39, Number 12, December 2013.
8. *Jung-Hong Ha, DDS, MS, Sung KyO Kim, DDS, MS, PhD, Nestor Cohenca, DDS, y Hyeon-Cheol Kim, DDS, MS, PhD.* "Effect of R-phase Heat Treatment on Torsional Resistance and Cyclic Fatigue". JOE - Volume 39, Number 3, March 2013.
9. *Ricardo Castelló-Escrivá, DDS, Teresa Alegre-Domingo, DDS, MSc, Vicente Fuentes-Matoses, DDS, MSc, Sophie Román-Richon, DDS, MSc, y Vicente J. Faus-Llácer, MD, DDS, MSc, PhD.* "In Vitro Comparison of Cyclic Fatigue Resistance of ProTaper, WaveOne, y Twisted Files". JOE - Volume 38, Number 11, November 2012.

10. Ya Shen, DDS, PhD, * Wei Qian, DDS, PhD, * Houman Abtin, BDS, * Yuan Gao, DDS, PhD, and Markus Haapasalo, DDS, PhD. **"Effect of Environment on Fatigue Failure of Controlled Memory Wire Nickel-Titanium Rotary Instruments"**.

JOE - Volume 38, Number 3, March 2012.

11. Gianluca Gambarini, DDS, MSc, PhD, Alessio Giansiracusa Rubini, DDS, MSc, Dina Al Sudani, DDS, MSc, Richard Gergi, DDS, MSc, Antonio Culla, Francesca De Angelis, DDS, MSc, Stefano Di Carlo, DDS, MSc, Giorgio Pompa, DDS, MSc, Nada Osta, DDS, MSc, and Luca Testarelli, DDS, MSc. **"Influence of Different Angles of Reciprocation on the Cyclic Fatigue of Nickel-Titanium Endodontic Instruments"**.

JOE - Volume 38, Number 10, October 2012.

12. Hyeon-Cheol Kim, DDS, MS, PhD, Sang-Won Kwak, DDS, MS, Gary Shun-Pan Cheung, BDS, MDS, PhD, Dae-Hoon Ko, MS, Se-Min Chung, DDS, WooCheol Lee, DDS, MS, PhD. **"Cyclic Fatigue and Torsional Resistance of Two New Nickel-Titanium Instruments Used in Reciprocation Motion: Reciproc Versus WaveOne"**.

JOE - Volume 38, Issue 4, Pages 541-544, April 2012.

13. Dina Al-Sudani, DDS, MsEd, Nicola M. Grande, DDS, PhD, Gianluca Plotino, DDS, PhD, Giorgio Pompa, MDM, DDS, Stefano Di Carlo, MDM, DDS, Luca Testarelli, DDS, PhD, and Gianluca Gambarini, MD, DDS. **"Cyclic Fatigue of Nickel-Titanium Rotary Instruments in a Double (S-shaped) Simulated Curvature"**.

JOE - Volume 38, Number 7, July 2012.

14. Gianluca Gambarini, MD, DDS, Nicola Maria Grande, DDS, Gianluca Plotino, DDS, Francesco Somma, MD, DDS, Manish Garala, DDS, Massimo De Luca, MD, DDS, and Luca Testarelli, DDS **"Fatigue Resistance of Engine-driven Rotary Nickel-Titanium Instruments Produced by New Manufacturing Methods"**.

JOE - Volume 34, Number 6, August 2008.

15. Mario Roberto Leonardo, Renato de Toledo Leonardo. **"Sistemas Rotatorios en Endodoncia, instrumentos de Níquel-Titanio"**.

Editorial Artes Médicas Latinoamericana, 2002, página 3.

16. J. I. Ingle. **"The need for endodontic instruments standarization"**.

Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol., Volume 8, Number 11, Page 232-7, 1955.

17. Beer R, Baumann M, Kim S, **"Atlas de Endodoncia"**. Editorial Masson, S.A. 2000.

18. Cohen S, Burns r, Hargreaves K, **"Vías de la Pulpa"**. Décima edición, capítulo 8, Elsevier, España, 2011.

19. Soares J, Goldberg F, **"Endodoncia: Técnica y Fundamentos"**. Editorial Médica Panamericana, 2002, capítulo 1, página 5 - 7.

20. Serene T, Adams J, Saxena A, **"Nickel-Titanium Instruments: Applications in Endodontics"**. St. Louis Missouri, USA: Ishiyaku Euroamerica, Inc. 112 page, 1995.
21. Pruett J, Clement D, Cames D, **"Cyclic Fatigue Testing of Nickel-Titanium Endodontic Instruments"**.
JOE - Volume 23, 1997, pages 77-85.
22. Gambarini G, **"Cyclic Fatigue of Profile Rotary Instruments After Prolonged Clinical Use"**.
Int. Endod. J. 2001;34;386-9.
23. Yared G, **"In Vitro Study of the Torsional Properties of New and Used ProFile Nickel-Titanium Rotary Files"**.
JOE - Volume 30, 2004.
24. Peters O, Peters C, Schönenberger K, Barbakow F. **"ProTaper Rotary Root Canal Preparation: Assessment of Torque and Force in Relation to Canal Anatomy"**.
Int. Endod. J. - Volume 36, 2003.
25. Hilt B, Cunningham C, Shen C, Richards N, **"Torsional Properties of Stainless-steel and Nickel-Titanium Files After Multiple Autoclave Sterilizations"**.
JOE - Volume 26, 2000.
26. Hyeon-Cheol Kim, DDS, MS, PhD, Sang-Won Kwak, DDS, MS, Gary Shun-Pan Cheung, BDS, MDS, PhD, Dae-Hoon Ko, MS, Se-Min Chung, DDS, WooCheol Lee, DDS, MS, PhD. **"Cyclic Fatigue and Torsional Resistance of Two New Nickel-Titanium Instruments Used in Reciprocation Motion: Reciproc Versus WaveOne"**.
JOE - Volume 38, Issue 4, Pages 541-544, April 2012.
27. He R, Ni Jun, **"Design Improvement and Failure Reduction of Endodontic Files through Finite Element Analysis: Application to V-Taper File Designs"**.
JOE - Volume 36, September 2010.
28. Park S, Cheung G, Yum J, Hur B, **"Dynamic Torsional Resistance of Nickel-Titanium Rotary Instruments"**.
JOE - Volume 36, July 2010.
29. Baek S, Lee C, Versluis A, Kim B, **"Comparison of Torsional Stiffness of Nickel-Titanium Rotary Files with Different Geometric Characteristics"**.
JOE - Volume 37, September 2011.
30. Turpin Y, Chagneau F, Bartier O, Cathelineau G, **"Impact of Torsional and Bending Inertia on Root Canal Instruments"**.
JOE - Volume 27, May 2001.

31. You SY, Bae KS, et al. **"Lifespan of One Niskel-Titanium Rotary File With Reciprocating Motion in Curved Root Canals"**.
JOE - Volume 36, 2010.
32. Jaramillo D, Aprecio R. **"Comparison of the Extrusion of Dentis Debris Using a New Instrumentation"**.
Loma Linda University School of Dentistry; Publicación Pendiente.
33. Gianluca Gambarini, MD, DDS and Gary Glassman, DDS, FRCD(D) **"TF Adaptive: A Novel Approach to Nickel-Titanium Instrumentation 'Rotary when you want it, Reciprocation when you need it'"**.
Oral health group, May 2013.
34. Ove A. Peters, PD Dr med dent, MS FICD. **"Current Challenges and Concepts in the Preparation of Root Canal Systems: A Review"**.
JOE - Volume 30, Number 8, August 2004.
35. Webber J, Machtou P, Pertot W, Kuttler S, Ruddle C, West J, **"The WaveOne single-file reciprocating system"**.
Clinical Technique Roots Magazine.
36. Grande NM, Plotino G, Pecci R, et al. **"Cyclic fatigue resistance and three-dimesional analysis of instruments from two nickel-titanium rotary systems"**. Int Endod J 2006; 39:755-63.
37. Ghassan Yared DDS MSc, Endodontist. **"Canal preparation with only one reciprocating instrument without prior hand filing: A new concept"**.
2010 endodonticcourses.
38. Gianluca Gambarini, MD, DDS and Gary Glassman, DDS, FRCD(D) **"TF Adaptive: A Novel Approach to Nickel-Titanium Instrumentation 'Rotary when you want it, Reciprocation when you need it'"**.
Oral health group, May 2013.
39. Yao J, Schwartz S, Beeson T **"Cyclc Fatigue of Three Types of Rotary Nickel-Titanium Files in a Dynamic Model"**.
JOE - Volume 32, 2006
40. Li UM, Lee BS, Shin CT **"Cyclic Fatigue of Endodontic Nickel Titanium Rotary Instruments: Static and Dynamic Tests"**.
JOE - Volume 28, 2002

41. *Gavini G, Caldeira CL, Akisue E* **"Resistance to Flexural Fatigue of Reciproc R25 Files Under Continuous Rotation and Reciprocating Movement"**.

JOE - Volume 38, 2012

42. *Arias A, Pérez-Higuerras JJ, de la Macorra JC* **"Differences in Cyclic Fatigue Resistance at Apical and Coronal Levels of Reciproc and WaveOne New Files"**.

JOE - Volume 38, 2012

43. *Yao JH, Schwartz SA, Beeson TJ* **"Cyclic Fatigue of Three Types of Rotary Nickel-Titanium Endodontic Instruments"**.

JOE - Volume 32, 2006