



ARTÍCULO
ORIGINAL



Bermejo Sánchez, Alba
Licenciada en Odontología por la Universidad Complutense de Madrid (UCM). Máster en Ciencias Odontológicas, UCM. Profesora asociada del Departamento de Odontología Conservadora y Prótesis Bucofacial, Facultad de Odontología, UCM.

Arias Paniagua, Ana
Doctora en Odontología. Profesora ayudante doctor. Departamento de Odontología Conservadora y Prótesis Bucofacial. Facultad de Odontología, UCM.

De la Macorra García, José Carlos
Médico estomatólogo. Profesor titular. Departamento de Odontología Conservadora y Prótesis Bucofacial. Facultad de Odontología, UCM.

Indexada en / Indexed in:

- IME
- IBECS
- LATINDEX
- GOOGLE ACADÉMICO

correspondencia:

Alba Bermejo Sánchez
Pza. Ramón y Cajal, s/n
28040 Madrid
Tel. 91 394 20 29
aberm02@ucm.es

Fecha de recepción: 28 de agosto de 2017.
Fecha de aceptación para su publicación:
23 de febrero de 2018.

EFECTO DE LA ESTERILIZACIÓN EN LA RESISTENCIA A FATIGA CÍCLICA DE LIMAS HYFLEX CM®, A NIVEL CORONAL Y APICAL

Trabajo ganador del Premio al Mejor Artículo Científico Universidades de la CAM 2017

Bermejo Sánchez A, Arias Paniagua A, De la Macorra García J C.

Efecto de la esterilización en la resistencia a fatiga cíclica de limas HyFlex CM®, a nivel coronal y apical. *Cient. Dent.* 2018; 15; 1; 19-24

RESUMEN

Objetivo: comparar la resistencia a fatiga cíclica de las limas HyFlex CM® nuevas y esterilizadas tanto a nivel apical como coronal.

Material y método: 180 limas se dividieron en seis grupos (n=30): dos de limas nuevas (A5, A11), dos de limas esterilizadas una vez (B5, B11) y dos de limas esterilizadas dos veces (C5, C11). Se evaluó la resistencia a fatiga cíclica (FC) a 5 mm y a 11 mm de la punta. El análisis de Weibull se utilizó para calcular los parámetros de vida media, beta y eta y comparar los grupos.

Resultados: Las limas nuevas fueron significativamente más resistentes a la FC que las esterilizadas una o dos veces, con una probabilidad de 72% y 61% a 5 mm de la punta y de un 75% y 72% a 11 mm de la punta, respectivamente. No hubo diferencias estadísticamente significativas entre la vida media de las limas esterilizadas una o dos veces a 11 mm de la punta, sin embargo las limas esterilizadas dos veces fueron significativamente más resistentes a 5 mm de la punta, con una probabilidad de 63%. En todos los grupos, las limas fueron significativamente más resistentes a nivel apical que coronal con una probabilidad superior al 99%.

Conclusiones: Las limas HyFlex CM® fueron más resistentes a la FC a nivel apical que coronal. Los instrumentos HyFlex CM® no esterilizados fueron los más resistentes.

PALABRAS CLAVE

HyFlex; Fatiga cíclica; Weibull.

EFFECT OF STERILIZATION CYCLES ON CYCLIC FATIGUE RESISTANCE OF HYFLEX CM FILES, AT CORONAL AND APICAL LEVELS

ABSTRACT

Aim: to compare cyclic fatigue resistance of new and sterilized HyFlex CM® files at apical and coronal levels.

Methods: 180 files were divided in six groups (n=30): two of new files (A5, A11), two autoclaved once (B5, B11) and two autoclaved twice (C5, C11). Cyclic fatigue resistance was tested at 5 mm and at 11 mm from the tip. Weibull analysis was used to calculate the mean life, beta, and eta parameters.

Results: New files will last significantly longer than files that were sterilized once or twice, with a probability of 72% and 61% at 5 mm from the tip and 75% and 72% at 11 mm from the tip, respectively. There was no statistically significant difference between the mean life of the files sterilized once or twice at 11 mm from the tip, but at 5 mm from the tip, files sterilized twice was significantly longer than those sterilized once, with a probability of 63%. Files will last significantly longer at 5 mm than 11 mm from the tip with a probability higher than 99%.

Conclusions: HyFlex CM® files were more resistant to cyclic fatigue at the apical than the coronal levels. Unsterilized HyFlex CM® files were the most resistant.

KEYWORDS

HyFlex; Cyclic fatigue; Weibull.

INTRODUCCIÓN

Las limas rotatorias de níquel-titanio (NiTi) se han convertido en la herramienta de elección para dar forma a los conductos radiculares¹ debido a su elasticidad, eficacia^{2,3} y capacidad de corte⁴. Sin embargo, una de las principales preocupaciones en la práctica endodóntica es su tendencia a fracturarse de forma inesperada debido a fatiga cíclica (FC) resultante de la alternancia de los ciclos de tensión-compresión a los que están sometidas cuando rotan cerca del tercio apical de un conducto con una gran curvatura⁵.

A pesar de todos los factores conocidos que influyen en la resistencia a la FC de las limas (el radio y el grado de curvatura del conducto radicular o el diseño del instrumento), las últimas estrategias de los fabricantes para mejorar la resistencia a la fractura de las limas de NiTi buscan mejoras en los procesos de fabricación y nuevas aleaciones con propiedades mecánicas superiores a las de la aleación de NiTi convencional⁶⁻⁸.

Desde 1988, cuando la aleación NiTi convencional o aleación de Nitinol se propuso para la fabricación de instrumentos endodónticos⁴, se han logrado importantes mejoras en las propiedades mecánicas de los instrumentos de NiTi con cambios sutiles en la relación de los dos elementos y/o en el tratamiento térmico⁹.

En los últimos años, las propiedades de las limas fabricadas con estas aleaciones mejoradas han sido ampliamente estudiadas⁹⁻¹³. La tecnología M-wire (Sportswire LLC, Langley, OK, EE.UU.), R-fase (SybronEndo, Orange, CA, EE.UU.), CM-Wire (DSDental, Johnson City, TN, EE.UU.), Blue o Gold (Dentsply Tulsa Dental Specialties, CA, EEUU) se han convertido en las más innovadoras aleaciones para la fabricación de instrumentos endodónticos. Parece ser que el nuevo objetivo de los fabricantes se centra en la optimización de las propiedades mecánicas de la aleación de NiTi para mejorar su microestructura (en lugar de reducir los defectos superficiales) a través de nuevos procesos termomecánicos con diferentes series de tratamientos de calor y frío. Estos modifican la temperatura de transición que en última instancia determina la superelasticidad y la memoria de forma de las aleaciones NiTi y, en consecuencia, afectan a la resistencia a FC de las limas^{9,14,15}.

Debido a que la memoria de forma y la superelasticidad son fuertemente dependientes del procesamiento termomecánico de la lima, se ha sugerido que el calor adicional al que están sometidos los instrumentos NiTi durante la esterilización en autoclave podría aumentar su flexibilidad^{8, 16}. Sin embargo, como Mize y cols.¹⁷ sugieren, es poco probable que la temperatura alcanzada durante la esterilización sea lo suficientemente alta como para tener efectos significativos en el reordenamiento de las fases cristalinas del NiTi, aunque puede tener un efecto positivo sobre su resistencia a FC.

Recientemente se han comercializado los instrumentos HyFlex CM[®] (Coltene Whaledent, Cuyahoga Falls, OH, EUA) fabricados con CM Wire, una nueva aleación que contiene un menor porcentaje de Ni (52%) que la aleación de NiTi convencional (54,5 a 57%)^{18,19}. El fabricante asegura que el procesamiento

termomecánico patentado al que están sometidas las limas HyFlex CM[®] produce instrumentos extremadamente flexibles sin la memoria de forma de otras limas de NiTi. Esta característica permitiría a la lima seguir la anatomía de los conductos curvos, reduciendo el riesgo de extrusión, transporte o perforación, incluso con conicidad grandes^{20,21}. Otra ventaja de esta nueva lima es la posibilidad de que pueda ser reutilizada sin cambiar su resistencia a FC, pues la forma y la resistencia de las limas con espirales enderezadas pueden recuperarse durante la esterilización en autoclave²².

El efecto de la esterilización en la resistencia a FC de diferentes instrumentos rotatorios de NiTi ha sido muy estudiado antes, pero no se ha alcanzado ningún consenso sobre este tema^{8, 16,17,23-26}.

Sin embargo, ningún estudio ha comparado la resistencia a FC de instrumentos HyFlex CM[®] nuevos y esterilizados a pesar de la afirmación del fabricante del efecto de la esterilización sobre las propiedades de la lima. Es, por tanto, interesante evaluar si el calor producido durante la esterilización en autoclave afecta de la misma manera a diferentes niveles de la lima. Consecuentemente, el objetivo de este estudio fue comparar la resistencia a FC de limas HyFlex CM[®], nuevas y esterilizadas tanto a nivel apical como coronal.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se utilizó una muestra de 180 limas HyFlex CM[®]. Todas tenían el mismo diámetro en la punta #30 y conicidad fija (0.06). Se dividieron aleatoriamente en seis grupos (n = 30 en cada uno) como se describe en la Tabla 1: dos grupos de limas nuevas (A5, A11), dos grupos de limas nuevas esterilizadas una vez (B5, B11) y dos grupos de limas nuevas esterilizadas dos veces (C5, C11). En los grupos A5, B5 y C5, se evaluó la resistencia a FC a 5 mm de la punta, y en los instrumentos de los grupos A11, B11 y C11 a 11 mm de la punta.

Los diámetros de todos los instrumentos a 5 mm y a 11 mm de la punta fueron 0,60 mm y 0,96 mm, respectivamente.

Las limas de los grupos B5, B11, C5 y C11 se esterilizaron en un sobre con indicadores de cambio de color para controlar el funcionamiento óptimo del autoclave. Se siguieron las instrucciones para el autoclave Europa B xp (Tecno Gaz S.p.A., Parma, Italia) para el proceso de esterilización y se seleccionó el programa "empaquetado a 134°C", que tiene un tiempo de

Tabla 1. DISTRIBUCIÓN DE GRUPOS, LIMAS HYFLEX CM.

LIMAS (n)	GRUPO	DISTANCIA DE LA PUNTA (mm)	CICLOS DE AUTOCLAVE
Hyflex CM 30 06 (30)	A5	5	0
	A11	11	
	B5	5	1
	B11	11	
	C5	5	2
	C11	11	

exposición de 5 minutos y un tiempo de secado de 12 minutos. El tiempo de calentamiento y el fraccionamiento al vacío podrían variar entre 25 y 30 minutos. La calidad adecuada de la esterilización se controló mediante métodos físicos, químicos y biológicos.

La resistencia a fatiga cíclica se testó en un dispositivo previamente descrito^{24,27-29}.

El dispositivo tiene una pieza de acero inoxidable endurecido con 11 semiconductos abiertos esculpidos (dos porciones rectas y abiertas acopladas en una curvatura de 60° con un radio de 3 mm) con diámetros que varían de 0,4 a 1,4 mm y una profundidad de 0,1 mm mayor que cada anchura. Esta pieza de acero inoxidable se une a una base que permite el ajuste de la posición de las limas en los tres ejes del espacio. El eje x sostiene el motor rotatorio y se acerca o separa de una segunda plataforma que sostiene la pieza tallada de acero inoxidable. Esta segunda plataforma permite el ajuste de la posición vertical (eje y) y la profundidad (eje z) de la pieza de acero que contiene los semiconductos artificiales.

El conducto seleccionado para testar la FC fue ligeramente más ancho (aproximadamente 0,1 mm) que el diámetro de la lima a la entrada del conducto. Los 5 primeros mm de la porción vertical recta del conducto eran la entrada, mientras que la punta de la lima descansaba en la segunda porción recta de 4 mm. Se utilizó un conducto de 1 mm de ancho para evaluar la FC a 5 mm de la punta (el diámetro de la lima a la entrada del conducto era de 0,9 mm) y un conducto de 1,3 mm de ancho para evaluarla a 11 mm de la punta (el diámetro de la lima en la entrada del conducto era de 1,26 mm).

Una pantalla protectora de acetato permitía la visualización de las limas mientras protegía al operador.

Después de colocar el instrumento en el conducto y lubricar con aceite sintético (Singer All-purpose Oil, Singer Sewing Company, Barcelona, España) para minimizar la fricción, se activaron simultáneamente el motor y un cronómetro de 1/100 s. Todos los instrumentos rotaron hasta la fractura a la velocidad especificada por el fabricante (500 rpm) y fueron controlados por el operador a través de la pantalla protectora, registrándose el tiempo a la fractura.

El análisis de Weibull (Weibull ++ 7, Reliasoft Corporation, Tucson AR, EE.UU.) se utilizó para calcular los siguientes parámetros, y sus intervalos de confianza al 95%, para cada grupo:

- Vida media (s). El tiempo esperado o promedio de fracaso.
- Beta, pendiente o parámetro de forma (adimensional): estos valores son iguales a las pendientes de las líneas de regresión en el diagrama de probabilidad de Weibull y son particularmente significativos porque proporcionan una pista de la física del fallo.
- Eta (s), vida característica o parámetro de escala: el tiempo típico hasta el fracaso en el análisis de Weibull,

relacionado con el tiempo medio hasta el fallo. Se define como el tiempo en el que el 63.2% de las limas se espera que fallen (la probabilidad de fallo es 0.63 en este tiempo).

RESULTADOS

La distribución de la fiabilidad versus tiempo por grupo se muestra en la Figura. Los parámetros de vida media, beta y eta así como sus intervalos de confianza (IC) al 95% se muestran en la Tabla 2.

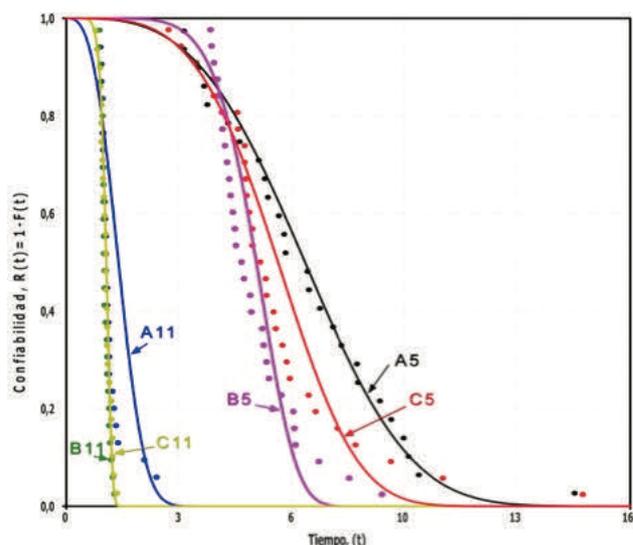


Figura. Distribución de la confiabilidad de Weibull por grupos. Eje X: tiempo, Eje Y: confiabilidad.

TABLA 2. PARÁMETROS DE WEIBULL Y SUS INTERVALOS DE CONFIANZA.

GRUPOS	VIDA MEDIA (IC 95%)	BETA (IC 95%)	ETA (IC 95%)
A5	6.79 (5.87-7.84)	3.28 (2.51-4.28)	7.57 (6.66-8.60)
A11	1.49 (1.48-1.50)	2.95 (2.94-2.95)	1.67 (1.66-1.68)
B5	5.31 (4.75-5.93)	6.67 (5.08-8.75)	5.69 (5.18-6.25)
B11	1.10 (1.06-1.15)	12.93 (9.94-16.82)	1.15 (1.11-1.19)
C5	5.97 (5.17-6.90)	3.85 (3.11-4.76)	6.60 (5.82-7.49)
C11	1.12 (1.06-1.18)	9.24 (6.97-12.25)	1.18 (1.13-1.23)

IC 95%: Intervalo de Confianza (95% de probabilidad).

Las limas HyFlex CM® son significativamente más resistentes que las limas esterilizadas con una probabilidad de 72% y 61% a 5 mm de la punta y 75% y 72% a 11 mm de la punta cuando se esterilizan una o dos veces, respectivamente. No hubo diferencias significativas entre la vida media de las limas esterilizadas una o dos veces a 11 mm de la punta, pero la vida media de las limas esterilizadas dos veces fue significativamente más larga que las esterilizadas una vez a 5 mm de la punta, con una probabilidad del 63%. Todas las limas, tanto nuevas como esterilizadas, durarán significativamente más a 5 mm que a 11 mm de la punta, con una probabilidad superior al 99%.

DISCUSIÓN

Aunque la resistencia a FC de las limas se ha mejorado con el desarrollo de nuevas aleaciones, sigue siendo una preocupación tanto para los profesionales como para los pacientes.

En ausencia de especificaciones estandarizadas para evaluar la resistencia a la FC de los instrumentos rotatorios de NiTi, se hace necesario generar estudios bien diseñados que permitan por un lado una situación de evaluación reproducible y que por otro traten de minimizar el número de variables no controladas^{30, 31}.

Hasta la fecha se han desarrollado diversos métodos para evaluar la resistencia a FC de las limas en un dispositivo metálico simulando los conductos³⁴⁻³⁶. En algunos estudios, la intención no es la de evaluar las limas en un aparato que reproduzca un conducto radicular, sino permitir una situación reproducible; por ejemplo, los clásicos tres pines de acero inoxidable que limitan el instrumento en una curvatura^{37,38}.

El dispositivo utilizado en este estudio no pretende reproducir una condición clínica, sino evaluar las limas en un entorno controlado y repetible que excluya factores de confusión y genere resultados que reflejen las propiedades intrínsecas del material a un nivel específico. El beneficio de este dispositivo respecto a otros utilizados para el estudio de FC^{37,38}, es que el operador puede decidir el punto de fatiga, ya que incluye diferentes tamaños de semiconductos de acero con los extremos abiertos. Así, en este estudio se pudo evaluar la resistencia a FC tanto a nivel apical como coronal. Además, como todas las limas evaluadas tenían el mismo diámetro en la punta y la misma conicidad, también tenían el mismo diámetro en los niveles seleccionados para ser fatigadas.

Por otro lado, debería alcanzarse un consenso entre los investigadores para el análisis estadístico correcto de los datos derivados de la vida media de instrumentos de conformación de conductos radiculares^{32,33}.

La fatiga es un proceso en el que el daño es acumulativo debido a la aplicación repetitiva de cargas que pueden estar muy por debajo del límite de elasticidad. Frecuentemente se utiliza un enfoque estadístico convencional para analizar la resistencia a FC de las limas, sin embargo, las estadísticas convencionales no consideran los procesos acumulativos producidos por la generación de grietas o por la alteración de defectos preexistentes de los materiales medidos a través del tiempo. Una sola aplicación de la carga no produce efectos nocivos, por lo que un análisis de tensión convencional puede conducir a un supuesto poco realista³⁹. Se puede obtener una descripción más exacta determinando la distribución de Weibull^{33,40,41}. El análisis del riesgo de ruptura de Weibull es un modelo ampliamente aceptado para la evaluación material y estructural y es el método líder en el mundo para ajustar y analizar datos de supervivencia. Además, da información de la predictibilidad de la fractura.

Varias propiedades físicas importantes de los instrumentos HyFlex CM[®] ya han sido evaluadas^{10,19,43,44}. Se ha demostrado

una mayor resistencia de estos instrumentos a FC cuando se comparan con limas de NiTi convencional^{20,21} o incluso con limas de R-fase o M-Wire¹⁸. En este estudio se utilizó el análisis de riesgo de ruptura de Weibull para analizar la resistencia a FC de HyFlex CM[®] a diferentes niveles. La vida media fue mayor a nivel apical que coronal, probablemente debido a que defectos tales como rasguños longitudinales o muescas de fresado suelen ser más grandes cerca del mango del instrumento que cerca de la punta de la lima⁴⁵. Además, los valores de beta superiores a 2,95 en todos los grupos de este estudio, indican un comportamiento predecible de las limas a ambos niveles, como puede verse en la inclinación de las pendientes de la Figura. Una línea vertical teórica en la gráfica de Weibull implicaría un diseño perfecto, una producción de calidad máxima; mientras que una línea horizontal teórica significaría una variabilidad extrema e indicaría que las limas se romperán de manera completamente impredecible⁴².

Es importante conocer no sólo la resistencia a FC de los instrumentos fabricados a partir de nuevas aleaciones sino también el efecto de la esterilización en dicha resistencia pues, debido al coste relativamente alto de los instrumentos de NiTi y contra las recomendaciones de los fabricantes, frecuentemente los clínicos reutilizan las limas¹.

Varios estudios han encontrado que la esterilización en autoclave no afecta la fatiga cíclica de M-Wire¹⁶ o incluso que mejora la resistencia a fatiga cíclica de limas R-fase⁸. Otro estudio encontró que la esterilización en autoclave no aumenta ni disminuye la resistencia a FC de M-Wire pero sí mejora la vida media de las limas de NiTi convencional²⁴. Los resultados del presente estudio mostraron una resistencia a FC significativamente menor después de la esterilización en autoclave de HyFlex CM[®], a nivel apical y coronal. La resistencia a FC a nivel coronal disminuyó con cada ciclo de esterilización; Sin embargo, la línea vertical en el diagrama de Weibull (Figura) mostró la extrema fiabilidad que puede esperarse en la resistencia a FC a nivel coronal después del autoclave. De manera inesperada, la resistencia a FC aumentó significativamente después del segundo ciclo de esterilización a nivel apical. Esta diferencia sugiere que el calor adicional alcanzado después del segundo proceso de autoclave podría restaurar las propiedades del instrumento a nivel apical, como afirmó el fabricante, aunque la vida media fuera aún menor que en las limas nuevas no esterilizadas.

Por tanto, teniendo en cuenta las limitaciones de este estudio, podemos concluir que la resistencia a la fatiga cíclica de las limas Hyflex[®] CM nuevas es significativamente mayor que las limas sometidas a uno y dos ciclos de esterilización en autoclave. Sin embargo, mientras que a 11 mm de la punta no existen diferencias significativas entre limas esterilizadas 1 o 2 veces, a 5 mm la resistencia de las limas de dos ciclos es significativamente mayor que las de uno. En todas las limas evaluadas, la resistencia a la fatiga cíclica es significativamente mayor a 5 mm que a 11 mm de la punta. Asimismo, se necesitan más estudios que evalúen el efecto de los ciclos de autoclave en limas fabricadas con la aleación CM-Wire para contrastar los resultados obtenidos en nuestro estudio.



BIBLIOGRAFÍA

1. Bird DC, Chambers D, Peters OA. Usage parameters of nickel-titanium rotary instruments: A survey of endodontists in the United States. *J Endod* 2009; 35 (9): 1193-1197.
2. Glosson CR, Haller RH, Dove SB, y cols. A comparison of root-canal preparations using Ni-Ti hand, Ni-Ti engine-driven, and K-Flex endodontic instruments. *J Endod* 1995; 21 (3): 146-151.
3. Short JA, Morgan LA, Baumgartner JC. A comparison of canal centering ability of four instrumentation techniques. *J Endod* 1997; 23 (8): 503-507.
4. Walia H, Brantley WA, Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of nitinol root canal files. *J Endod* 1988; 14 (7): 346-351.
5. Sattapan B, Nervo GJ, Palamara JE, y cols. Defects in rotary nickel-titanium files after clinical use. *J Endod* 2000; 26 (3): 161-165.
6. Oh SR, Chang SW, Lee Y, y cols. A comparison of nickel-titanium rotary instruments manufactured using different methods and cross-sectional areas: Ability to resist cyclic fatigue. *Oral Surg Oral Med Oral Path Oral Rad Endod* 2010; 109 (4): 622-628.
7. Ye J, Gao Y. Metallurgical characterization of m-wire nickel-titanium shape memory alloy used for endodontic rotary instruments during low-cycle fatigue. *J Endod* 2012; 38 (1): 105-107.
8. Plotino G, Costanzo A, Grande NM, y cols. Experimental evaluation on the influence of autoclave sterilization on the cyclic fatigue of new nickel-titanium rotary instruments. *J Endod* 2012; 38 (2): 222-225.
9. Shen Y, Zhou HM, Zheng YF, y cols. Current challenges and concepts of the thermomechanical treatment of nickel-titanium instruments. *J Endod* 2013; 39 (2): 163-172.
10. Shen Y, Coil JM, Zhou H, y cols. Hyflex nickel-titanium rotary instruments after clinical use: Metallurgical properties. *Int End J* 2013; 46 (8): 720-729.
11. Gambarini G, Grande NM, Plotino G, y cols. Fatigue resistance of engine-driven rotary nickel-titanium instruments produced by new manufacturing methods. *J Endod* 2008; 34 (8): 1003-1005.
12. Johnson E, Lloyd A, Kuttler S, y cols. Comparison between a novel nickel-titanium alloy and 508 nitinol on the cyclic fatigue life of Profile 25/04 rotary instruments. *J Endod* 2008; 34 (11): 1406-1409.
13. Alapati SB, Brantley WA, Iijima M, y cols. Metallurgical characterization of a new nickel-titanium wire for rotary endodontic instruments. *J Endod* 2009; 35 (11): 1589-1593.
14. Zhao D, Shen Y, Peng B, y cols. Micro-computed tomography evaluation of the preparation of mesiobuccal root canals in maxillary first molars with HyFlex CM, Twisted Files, and K3 instruments. *J Endod* 2013; 39 (3): 385-388.
15. Gutmann JL, Gao Y. Alteration in the inherent metallic and surface properties of nickel-titanium root canal instruments to enhance performance, durability and safety: A focused review. *Int End J* 2012; 45 (2): 113-128.
16. Hilfer PB, Bergeron BE, Mayerchak MJ, y cols. Multiple autoclave cycle effects on cyclic fatigue of nickel-titanium rotary files produced by new manufacturing methods. *J Endod* 2011; 37 (1): 72-74.
17. Mize SB, Clement DJ, Pruett JP, y cols. Effect of sterilization on cyclic fatigue of rotary nickel-titanium endodontic instruments. *J Endod* 1998; 24 (12): 843-847.
18. Pongione G, Pompa G, Milana V, y cols. Flexibility and resistance to cyclic fatigue of endodontic instruments made with different nickel-titanium alloys: A comparative test. *Ann Stomatol (Roma)* 2012; 3 (3-4): 119-122.
19. Zinelis S, Eliades T, Eliades G. A metallurgical characterization of ten endodontic ni-ti instruments: Assessing the clinical relevance of shape memory and superelastic properties of ni-ti endodontic instruments. *Int End J* 2010; 43: 125-134.
20. Ninan E, Berzins DW. Torsion and bending properties of shape memory and superelastic nickel-titanium rotary instruments. *J Endod* 2013; 39 (1): 101-104.
21. Plotino G, Testarelli L, Al-Sudani D, y cols. Fatigue resistance of rotary instruments manufactured using different nickel-titanium alloys: A comparative study. *Odontology* 2014; 102 (1): 31-35.
22. Endo C. HyFlex CM. Controlled memory niti files. 2013. Disponible en: <http://www.hyflexcm.com/features.html>
23. Yared GM, Dagher FE, Machtoub P. Cyclic fatigue of profile rotary instruments after clinical use. *Int End J* 2000; 33 (3): 204-207.
24. Arias A, Perez-Higueras JJ, de la Macorra JC. Influence of clinical usage of GT and GTX files on cyclic fatigue resistance. *Int End J* 2014; 47 (3): 257-263.

25. Gambarini G. Cyclic fatigue of nickel-titanium rotary instruments after clinical use with low- and high-torque endodontic motors. *J Endod* 2001; 27 (12): 772-774.
26. Viana AC, Gonzalez BM, Buono VT, y cols. Influence of sterilization on mechanical properties and fatigue resistance of nickel-titanium rotary endodontic instruments. *Int End J* 2006; 39 (9): 709-715.
27. Arias A, Perez-Higueras JJ, de la Macorra JC. Differences in cyclic fatigue resistance at apical and coronal levels of Reciproc and Wave One new files. *J Endod* 2012; 38 (9): 1244- 1248.
28. Pérez-Higueras JJ, Arias A, de la Macorra JC, y cols. Cyclic fatigue resistance of K3, K3XF, and twisted file nickel-titanium files under continuous rotation or reciprocating motion *J Endod* 2013; 39 (12): 1585-1588.
29. Pérez-Higueras JJ, Arias A, de la Macorra JC, y cols. Differences in cyclic fatigue resistance between ProTaper Next and ProTaper Universal instruments at different levels. *J Endod* 2014; 40 (9): 1477-1481.
30. Yao JH, Schwartz SA, Beeson TJ. Cyclic fatigue of three types of rotary nickel-titanium files in a dynamic model. *J Endod* 2006; 32 (1): 55-57.
31. Plotino G, Grande NM, Cordaro M, y cols. A review of cyclic fatigue testing of nickel-titanium rotary instruments. *J Endod* 2009; 35 (11): 1469-1476.
32. McCabe JF, Carrick TE. A statistical approach to the mechanical testing of dental materials. *Dent Mater* 1986; 2 (4): 139-142.
33. Quinn JB, Quinn GD. A practical and systematic review of Weibull statistics for reporting strengths of dental materials. *Dent Mater* 2010; 26 (2): 135-147.
34. Bouska J, Justman B, Williamson A, y cols. Resistance to cyclic fatigue failure of a new endodontic rotary file. *J Endod* 2012; 38 (5): 667-669.
35. Gambarini G, Gergi R, Naaman A, y cols. Cyclic fatigue analysis of twisted file rotary niti instruments used in reciprocating motion. *Int End J* 2012; 45 (9): 802-806.
36. Grande NM, Plotino G, Pecci R, y cols. Cyclic fatigue resistance and three-dimensional analysis of instruments from two nickel-titanium rotary systems. *Int End J* 2006; 39 (10): 755-763.
37. Setzer FC, Böhme CP. Influence of combined cyclic fatigue and torsional stress on the fracture point of nickel-titanium rotary instruments. *J Endod* 2013; 39 (1): 133-137.
38. Cheung GS, Darvell BW. Fatigue testing of a niti rotary instrument. Part 1: Strain-life relationship. *Int End J* 2007; 40 (8): 612-618.
39. Roylance D. Mechanical properties of materials. Massachusetts Institute of Technology. 2008. Disponible en: <http://stuff.mit.edu/afs/athena/course/3/3.225/book.pdf>
40. Lesaffre E, Feine J, Leroux B, y cols., eds. *Statistical and Methodological Aspects of Oral Health Research*. Chichester, West Sussex, UK: Wiley; 2009.
41. Weibull W. A statistical distribution function of wide applicability. *J App Mech* 1951: 293-297.
42. Abernethy RB. *The New Weibull Handbook. Reliability and statistical analysis for predicting life, safety, survivability, risk, cost and warranty claims*, 4th ed. North Palm Beach, FL: Robert B. Abernethy; 2000.
43. Peters OA, Gluskin AK, Weiss RA, y cols. An in vitro assessment of the physical properties of novel HyFlex nickel titanium rotary instruments. *Int End J* 2012; 45 (11): 1027-1034.
44. Testarelli L, Plotino G, Al-Sudani D, y cols. Bending properties of a new nickel-titanium alloy with a lower percent by weight of nickel. *J Endod* 2011; 37 (9): 1293-1295.
45. Pirani C, Cirulli PP, Chersoni S, y cols. Cyclic fatigue testing and metallographic analysis of nickel-titanium rotary instruments. *J Endod* 2011; 37 (7): 1013-1016.