

Alteraciones morfológicas en instrumentos endodónticos rotatorios ante la fatiga cíclica

Morphological changes in rotary endodontic instruments due to cyclic fatigue

Presentado: 28 de noviembre de 2012

Aceptado: 2 de mayo de 2013

Gustavo Loppreite^a, Jorge Basilaki^a, Pedro Hecht^b^aCátedra de Endodoncia^bCátedra de Biofísica

Facultad de Odontología, Universidad de Buenos Aires, Argentina

Resumen

La fatiga cíclica a la que son sometidos durante su empleo produce alteraciones en los instrumentos rotatorios de níquel titanio, utilizados en endodoncia.

Objetivo: Evaluar al MEB las alteraciones morfológicas superficiales producidas en los instrumentos de níquel titanio PathFile, sometidos a fatiga cíclica en diferentes períodos de tiempo.

Métodos: Una muestra de treinta instrumentos nuevos, Pathfile (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suiza), calibre .13 y .02 de conicidad fueron testeados en un conducto simulado por un tubo cilíndrico de acero inoxidable de calibre interno, de 0,5 mm y 25 mm de longitud, con una curvatura de 45 grados y 8 mm de radio a 5 mm de su extremo apical. Para la prueba, los treinta instrumentos fueron divididos en cinco grupos (n=6) y fueron rotados a 300 rpm y 1 Ncm de torque en diferentes tiempos, de 15 s (GA), 75 s (GB), 150 s (GC) y 300 s (GD), conservándose el quinto grupo como control absoluto (GN). Luego de la prueba, los instrumentos fueron observados al MEB convencional de alto vacío Phillips modelo 515, a 50X, 150X y 600X. Se buscó la aparición de grietas y de pérdidas de masa superficial en la morfología de los instrumentos.

Resultados: Todos los grupos que fueron sometidos a fatiga presentaron surcos y pérdida de masa superficial de distinto grado. Los resultados obtenidos fueron analizados estadísticamente por medio de la prueba Kruskal-Wallis de una vía, y se hallaron diferencias significativas entre los grupos (P=0,002). Posteriormente, fueron evaluados mediante el test de Tukey de comparaciones múltiples. El índice de grietas a 150X aumenta con el tiempo, y se registran dos diferencias significativas al nivel P<0,05 (300 s vs. 0 s, y 150 s vs. 0 s). Ninguna otra comparación resultó significativa. Para el análisis de pérdida de masa a 600X fue empleada la prueba de Kruskal-Wallis de una vía, la cual no reveló diferencias significativas entre los tiempos.

Conclusión: El aumento del tiempo de fatiga cíclica sobre los 150 segundos produce alteraciones significativas en forma de grietas en la morfología superficial de los instrumentos PathFile. No se encontraron diferencias significativas en el análisis de pérdida de masa superficial entre los grupos.

Palabras clave: Níquel titanio, fatiga cíclica, morfología.

Abstract

The cyclical stress they undergo during use, alters nickel titanium rotary instruments used in endodontics.

Aim: SEM evaluation of surface morphological alterations produced in nickel titanium PathFile instruments subjected to cyclic fatigue in different time periods.

Methods: A sample of 30 new instruments PathFile (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) tip .13 and .02 taper were tested in a simulated canal in a 25 mm long stainless steel cylindrical tube drilled with an internal gage of 0.5 mm with a curvature of

45 degrees and 8 mm of radius at 5 mm from its apical end. The instruments were divided in 5 groups (n=6). The instruments were rotated at 300 rpm and 1 Ncm of torque at different times, 15 s (GA), 75 s (GB), 150 s (GC) and 300 s (GD), preserving the fifth group as full control (GN). The tested instruments were observed with a conventional high vacuum SEM Phillips mod. 515 to 50X, 150X and 600X. We searched for the appearance of grooves and loss of surface mass on the morphology of the instruments.

Results: All groups showed fatigue grooves and surface mass

loss of different degrees. Results were statistically analyzed using the Kruskal-Wallis one-way test, finding significant differences between groups ($P=0.002$) and subsequently the Tukey test for multiple comparisons was applied. At 150X the groove index increased with time and recorded two significant differences at $P < 0.05$ (vs. 0 s 300 s and 150 s vs. 0 s). There were no other meaningful differences. The Kruskal-Wallis one-way test applied

for the analysis of mass loss at 600X revealed no significant differences between different times.

Conclusion: The increase in cyclic fatigue above 150 s produces significant groove forms on the surface morphology of PathFile instruments. No significant differences were found on surface mass loss between groups.

Key words: Nickel titanium, cyclic fatigue, morphology.

Introducción

El mantenimiento de la permeabilidad durante la preparación quirúrgica de los conductos radiculares es un procedimiento relacionado con la limpieza del espacio comprendido entre el límite de preparación quirúrgica y el foramen apical. Los instrumentos empleados para tal fin deben presentar la posibilidad de alcanzar repetidamente esta pequeña región. Se describen como de pequeño calibre, menor al correspondiente a la constricción apical y al foramen, y de alta flexibilidad con el fin de abordar la anatomía dentaria sin generar desgastes en las paredes¹⁻².

Los instrumentos que se emplean son confeccionados en aleaciones de acero inoxidable o de níquel titanio, accionados de forma manual o mecanizada, con diferentes resultados clínicos.

Los instrumentos PathFile (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suiza), diseñados para la instrumentación rotatoria continua, son elaborados por medio de torneado en aleación de níquel titanio, lo que les confiere alta flexibilidad y elasticidad. Se presentan en tres calibres (.13, .16 y .19), su sección es cuadrangular, su punta inactiva y su conicidad constante de 2%. Estas características los convierten en los elegidos para la permeabilización de conductos estrechos, momento en que el instrumento debe girar libremente en la luz del conducto de forma repetida, por lo que el principal requerimiento es que presente resistencia a la fatiga cíclica³.

La fatiga de material es una reducción gradual de la capacidad para resistir carga de cualquier componente por la ruptura lenta de ese material, consecuencia del avance infinitesimal de fisuras microscópicas que se forman en su interior⁴.

En materiales con defectos de superficie, el tiempo de iniciación de grietas es corto; en materiales cuidadosamente terminados y libres de defectos, el tiempo de iniciación de grietas puede durar hasta un 80% de su vida útil⁴.

Por lo tanto, el diseño y las características superficiales de los instrumentos rotatorios influyen en las prestaciones que éste brinda, ya que condiciona su resistencia a la fatiga cíclica y a la torsión producto de la fricción,

dos factores determinantes de deformación plástica o de fractura durante el uso⁵⁻⁶⁻⁷.

La fractura o falla por fatiga está generalmente relacionada a deformaciones plásticas, y éstas, asociadas con tensiones cortantes. La deformación plástica se origina en la superficie de la pieza, en forma de pequeñas rajaduras superficiales y de rebabas irregulares, las cuales actuarán como concentradoras de tensión y, por lo tanto, como nucleadoras de minúsculas grietas.

Los instrumentos de níquel titanio, dadas sus características metalográficas, pocas veces presentan alteraciones morfológicas macroscópicas superficiales, que evidencien un paso inicial de deformación previamente a su falla intempestiva y a su fractura. Como agravante, regularmente la falla ocurre dentro del conducto radicular durante su empleo clínico. Las marcas superficiales microscópicas, que aparecen en un instrumento que sufre fatiga cíclica, pueden servir como un índice de su respuesta a la intensidad de la carga recibida y a su resistencia a los ciclos de exigencia.

El objetivo de este trabajo fue evaluar al MEB las alteraciones morfológicas superficiales producidas en instrumentos rotatorios de níquel titanio PathFile, sometidos a fatiga cíclica en diferentes períodos de tiempo.

Materiales y métodos

Se confeccionó un aparato para la realización de la experiencia; consiste en un tubo cilíndrico de acero inoxidable de calibre interno 0,5 mm y 25 mm de longitud, con una curvatura de 45° y 8 mm de radio, a 5 mm de uno de sus extremos. El extremo opuesto se fijó a la tapa plástica de un tubo de ensayo de 5 ml de capacidad. El conjunto formado se fijó a una base, que permitió la manipulación e impidió su desplazamiento durante la realización de la experiencia.

Un total de treinta instrumentos nuevos PathFile (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suiza) de calibre .13, diseñados para instrumentación rotatoria, fueron divididos de forma aleatoria en cinco grupos de seis instrumentos cada uno, una vez retirados de sus embalajes. Los instrumentos se sometieron al giro constante, introducidos dentro del tubo de acero del aparato a 300 rpm y 1 Ncm de torque, con

un motor eléctrico XSmart (Dentsply Maillefer, Ballaugues, Suiza) en diferentes tiempos: 15 s (GA), 75 s (GB), 150 s (GC) y 300 s (GD). Se conformaron cuatro grupos y se conservó el quinto como control absoluto (GN). Una vez finalizado el procedimiento, se higienizó cada instrumento en lavadora ultrasónica durante un minuto en agua destilada y se secó con aire caliente, previa inmersión en alcohol etílico 96° (Fig. 1).

Cada instrumento fue observado con lupa de aumento 10X, a el fin de evaluar y registrar la presencia de alteraciones morfológicas en su tamaño o superficie.

Posteriormente, cada instrumento fue evaluado al MEB convencional de alto vacío Phillips modelo 515, específicamente con tres aumentos: 50X, 150X y 600X. Se estandarizó la observación con foco central en una distancia establecida a 5 mm de la punta.

Las imágenes se examinaron a 50X en búsqueda de alteraciones de su forma helicoidal. Un mayor aumento, de 150X, fue empleado para buscar surcos de superficie en la hoja relacionados a los filos cortantes, y también a 600X de magnificación en la requisa de pérdidas de masa superficial.

Para la valoración de los datos se estableció una escala que comprendió la aparición de grietas en la parte activa en cuatro valores; se tomó como referencia el de mayor valor presente (Tabla 1).

En lo que respecta a las pérdidas de masa superficial, analizadas a 600X, se estableció una escala de tres valores (Tabla 2).

Los datos obtenidos se volcaron en tablas para su análisis.

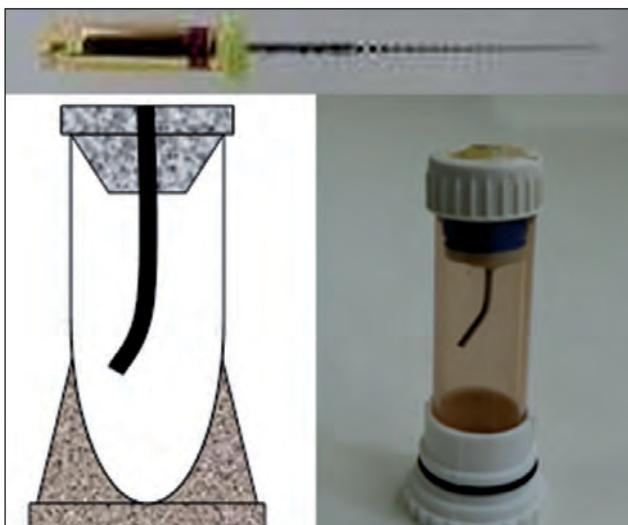


Figura 1. Instrumento PathFile calibre .13 y aparato diseñado para la experiencia.

Resultados

No se encontraron deformaciones plásticas en el helicoide de los instrumentos en la observación a 50X, en ninguna de las muestras. Todos los grupos sometidos a fatiga presentaron surcos y pérdida de masa superficial de distinto grado. Se procedió al análisis de los resultados (Figs. 2-5).

En la Tabla 3 pueden observarse los resultados obtenidos de la lectura a 150X, con presencia de grietas superficiales en cada espécimen de los grupos de estudio.

De la lectura de los datos relevados se infiere que en los grupos A y B se detectaron grietas en el 50% de sus muestras, con valores mayores en el grupo B. Los grupos C y D presentaron alteraciones de diferente valoración en el 100% de sus especímenes.

Los resultados obtenidos en la lectura de grietas a 150X fueron analizados estadísticamente por medio de la prueba Kruskal-Wallis de una vía. La Tabla 4 muestra los resultados del análisis.

Se hallaron diferencias significativas entre los grupos ($P=0,002$). Posteriormente, se empleó el test de Tukey de comparaciones múltiples en el análisis de los datos.

El índice de grietas a 150X aumenta con el tiempo y se registran dos diferencias significativas al nivel $P<0,05$ (300 s vs. 0 s, y 150 s vs. 0 s). Ninguna otra comparación resultó significativa. Los grupos C y D presentaron grietas en un valor significativo con respecto a los instrumentos sin uso. La fatiga cíclica por debajo de los 75 segundos no produjo valores de significancia con respecto a los instrumentos del grupo de control (Fig. 6).

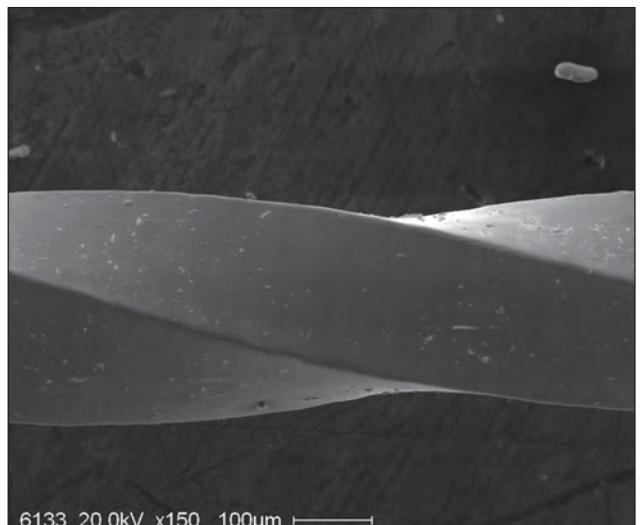


Figura 2. Grietas grado 0.

En la tabla 6 se pueden observar los valores encontrados para el análisis de las pérdidas de masa superficial en los instrumentos.

Se observa una mayor incidencia en los defectos superficiales con pérdida de masa en los especímenes que sufrieron mayor fatiga cíclica, y se encuentran tanto pérdidas relacionadas con el filo como en la cara libre de la hoja, sin ser determinante en ninguno de los grupos ninguna de esas características.

Para el análisis de pérdida de masa a 600X, se empleó la prueba de Kruskal-Wallis de una vía, la cual no reveló diferencias significativas entre los grupos en estudio, a pesar de haber encontrado distintos tipos de pérdidas en al menos un espécimen de cada uno.

Discusión

Sin verse influenciados por los métodos de esterilización o de empleo de irrigantes (Yared *et al.*), la fatiga del material parece ser una importante razón de la

fractura de los instrumentos rotatorios de níquel titanio durante el uso clínico. Peng *et al.* analizaron y clasificaron la fractura de la mayor parte de los instrumentos como producto de fracaso a la flexión, lo que implicó fatiga como mecanismo predominante⁸.

Las cargas cíclicas, como las que recibe un instrumento que trabaja en una curva, pueden ocasionar discontinuidades superficiales microscópicas a partir de escalones producidos por deslizamiento de dislocaciones del metal, las cuales actuarán como concentradores de la tensión y, por tanto, como lugares de nucleación de fisuras y grietas. Para que el proceso de núcleos de grietas de fatiga se inicie es necesario, al menos para los materiales dúctiles, que sucedan deformaciones elastoplásticas, generalizadas o confinadas en un pequeño volumen del material. La velocidad de propagación de la grieta a la fractura es una función del nivel de tensión aplicada y de su amplitud.

En cuanto al sometimiento a la exigencia de los instrumentos, hemos empleado tiempos en segundos para

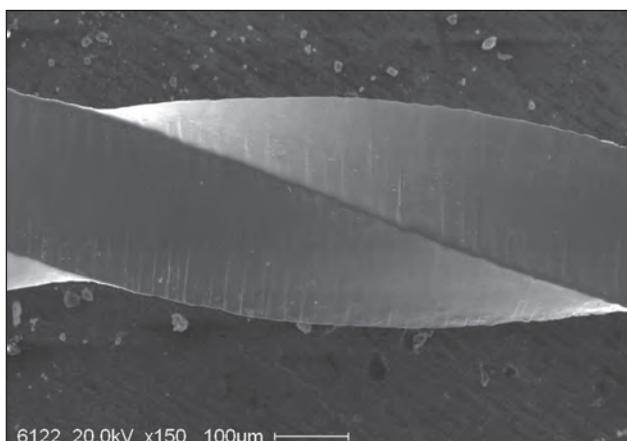


Figura 3. Grietas grado 1.

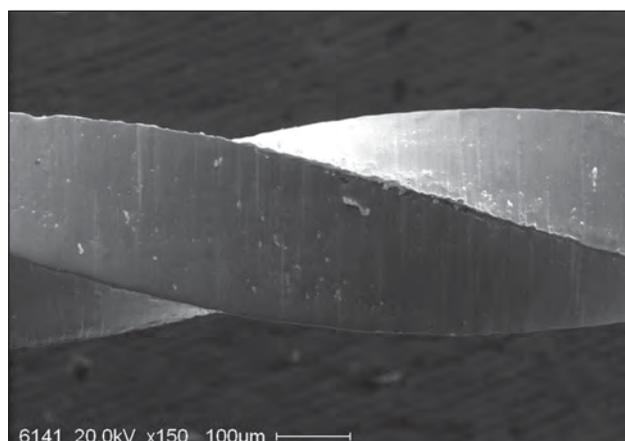


Figura 4. Grietas grado 2.

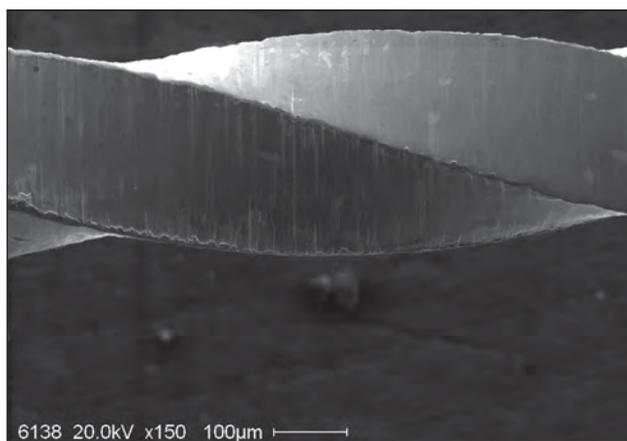


Figura 5. Grietas grado 3.

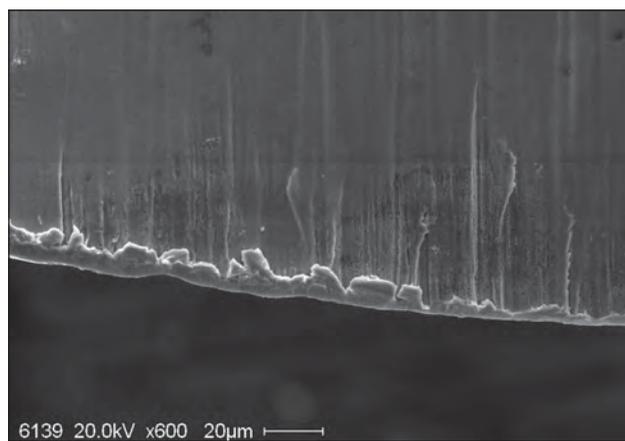


Figura 6. Ejemplo de pérdida de masa asociada al filo.

la prueba de fatiga; se debe considerar que 15 segundos serían los utilizados durante un tratamiento endodóntico para realizar el procedimiento de permeabilidad. Se seleccionaron para el resto de los grupos tiempos prolongados de 75 s, 150 s y 300 s, concordantes a un aproximado de 5, 10 y 20 tratamientos respectivamente.

El diseño del aparato para la prueba permitió al instrumento girar libremente, centrándolo en la luz del espacio del tubo, a fin de generar la disminución de variables asociadas a su desadaptación; como aconsejan los autores que analizaron la relación entre el instrumento y el modelo de estudio empleado³.

Tanto el diseño como cualquier discontinuidad geométrica actúan como concentradores de tensiones, y allí es donde puede nuclear la grieta de fatiga. Es importante advertir en los instrumentos cambios en la geometría de una pieza, discontinuidades en la superficie o defectos metalúrgicos. Cuanto más aguda es la discontinuidad, más severa es la concentración de tensiones. Pirani *et al.*⁹ evaluaron por medio de EDS (*energy dispersive x-ray spectrophotometry*) muestras con inclusiones de O y C en adición al Ni-Ti y presencia de irregularidades en superficie e inclusiones no metálicas. Compartimos con Pirani los hallazgos realizados en evaluación al MEB, en los que hemos encontrado un alto porcentaje de imperfecciones e irregularidades en la superficie de instrumentos rotatorios nuevos, producto de su proceso de manufactura¹⁰.

Cheung *et al.*¹¹ informaron que la gran mayoría, aproximadamente un 93% de los instrumentos, aparentan haber fracasado debido a la fatiga por flexión, luego de una prueba de fatiga cíclica en agua que mostro múltiples *cracks* superficiales al MEB.

Plotino G *et al.*³ informaron una reducción significativa en la resistencia a la fatiga cíclica entre los instrumentos nuevos y los utilizados. Compartimos con Plotino sus conclusiones, apoyados en el hecho de que, no habiendo

fracturas, hemos encontrado diferencias significativas en los daños superficiales entre los grupos de nuestro trabajo, fundamentalmente entre los nuevos y a partir de 150 segundos de empleo. Estos resultados eran previsibles en los instrumentos endodónticos sometidos a tensión de fatiga durante el uso, especialmente en presencia de curvatura, zona que sufre fatiga por tensión y compresión³.

El diámetro del instrumento en el punto de máxima curvatura¹², el uso excesivo a lo largo del tiempo, la alta velocidad, la presión excesiva y la persistencia de giro en un mismo punto influyen en la vida de fatiga^{10,14,15}.

En las condiciones del presente estudio, ninguno de los instrumentos utilizados llegó a su límite de fractura en tiempos prolongados; se encontraron defectos de superficie y alteraciones morfológicas de diferentes grados, producto de la fatiga cíclica e iniciadoras de la falla final. Debería encaminarse una línea de investigación hacia la combinación de fatiga cíclica con esfuerzos de torsión, con el fin de evaluar la respuesta de los instrumentos rotatorios en combinación de exigencias mecánicas, aproximándonos a los requerimientos y situaciones clínicas a los que éstos son sometidos.

Conclusión

En las condiciones de este estudio, el aumento del tiempo de fatiga cíclica por sobre los 150 segundos produce alteraciones significativas en forma de surcos y grietas en la morfología superficial de los instrumentos PathFile. Se encontraron pérdidas de masa superficial asociadas al filo y en la superficie libre de la hoja en los instrumentos que recibieron fatiga, sin diferencias significativas en el análisis entre los grupos.

Los autores declaran no tener conflictos de interés en relación con este estudio y afirman no haber recibido financiamiento externo para realizarlo.

Tabla 1. Valoración de tipo de grietas.

Valor	Tipo
0	Sin grieta
1	Grieta desde el filo cortante hasta un tercio del ancho de la hoja
2	Grieta desde el filo hasta más de la mitad del ancho de la hoja
3	Grieta que se extiende de filo cortante a filo cortante

Tabla 2. Valoración de pérdida de masa.

Valor	Tipo
0	Sin pérdidas
1	Pérdida asociada al filo
2	Pérdida en cara libre

Tabla 3. Análisis de grietas a 150X.

Muestra	Grupo N	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo D
1	0	0	0	1	2
2	0	0	3	2	2
3	0	2	0	2	3
4	0	1	2	1	2
5	0	0	1	3	2
6	0	1	0	2	2

Tabla 4. Análisis de varianza (Kruskall-Wallis) de grietas a 150X.

Grupo	n	Faltantes	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%
N	6	0	0,0	0,0	0,0
A	6	0	0,5	0,0	1,0
B	6	0	0,5	0,0	2,0
C	6	0	2,0	1,0	2,0
D	6	0	2,0	2,0	2,0

H= 16,545 con cuatro grados de libertad (P=0,002).

Tabla 5. Comparaciones múltiples (prueba de Tukey).

Comparación	Dif. de orden	Q	P<0,05
300 vs. 0	102.500	4.753	Si
150 vs. 0	87.500	4.058	Si

Tabla 6. Análisis de pérdida de masa superficial a 600X.

Muestra	n	Faltante	Mediana	Percentil 25%	Percentil 75%
1	0	0	0	0	1
2	0	0	0	2	0
3	0	0	0	1	2
4	0	2	0	0	0
5	0	0	1	2	2
6	0	0	1	0	0

Referencias

1. Buchanan LS. Management of the curved root canal. *J Calif Dent Assoc* 1989;17:18-27.
2. Plotino G, Grande NM, Cordaro M, Testarelli L, Gambarini G. A review of cyclic fatigue testing of nickel-titanium rotary instruments. *J Endod* 2009;35:1469-76.
3. Plotino G, Grande NM, Cordaro M, Testarelli L, Gambarini G. Influence of the shape of artificial canals on the fatigue resistance of niti rotary instruments. *Int Endod J* 2010;43:69-75.
4. Coltters R Análisis de fractura. *www.analisisdefractura.com*. 2012
5. Oh SR, Chang SW, Lee Y, Gu Y, Son WJ, Lee W, *et al*. 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 Pathol Oral Radiol Endod* 2010;109:622-8.
6. Inan U, Aydin C, Tunca YM. Comparison of cyclic fatigue resistance of three different rotary nickel-titanium instruments designed for retreatment. *J Endod* 2012;38:108-11.
7. Yared GM, Bou Dagher FE, Machtou P. Cyclic fatigue of ProFile rotary instruments after clinical use. *Int Endod J* 2000;33:204-7.
8. Peng B, Shen Y, Cheung GS, Xia TJ. Defects in ProTaper S1 instruments after clinical use: longitudinal examination. *Int Endod J* 2005;38:550-7.
9. Pirani C, Cirulli PP, Chersoni S, Micele L, Ruggeri O, Prati C. Cyclic Fatigue testing and metallographic analysis of nickel-titanium rotary instruments. *J Endod* 2011;37:1013-6.
10. Lopreite G, Basilaki J. Evaluación del acabado superficial de instrumentos sin uso para instrumentación mecanizada en endodoncia: estudio al MEB. *Revista Canal Abierto. Sociedad Endodoncia de Chile* 2012;26:15-21.
11. Cheung GS, Darvell BW. Fatigue testing of a niti rotary instrument. Part 2: fractographic analysis. *Int Endod J* 2007;40:619-25.
12. Haïkel Y, Serfaty R, Bateman G, Senger B, Allemann C. Dynamic and cyclic fatigue of engine-driven rotary nickel-titanium endodontic instruments. *J Endod* 1999;25:434-40.
13. Gambarini G. Cyclic fatigue of profile rotary instruments after prolonged clinical use. *Int End J* 2001;34:386-9.
14. Zaglul Matta N, Brau Aguadé E, Pumarola Suñé J. Estudio de la resistencia a la fractura por flexión y torsión de diversas limas mecánicas rotatorias. *Asociación Costarricense Odontológica* 2009:87-90.

Contato:

GUSTAVO LOPREITE

lobra93@gmail.com

Marcelo T. de Alvear 2142 9° B (C1122AAH)
Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina