

## COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FATIGA CÍCLICA ENTRE LOS SISTEMAS RECIPROCANTES, RECIPROC® BLUE Y WAVE ONE® GOLD, MEDIANTE UN TEST DINÁMICO

Cristina Gutierrez De Piñeres Milazzo 1, Karen Julieth Antolinez Díaz 1, Juan Carlos Murcia Celedón 2, Ivonne Ordoñez 3

1. Odontólogos, Residentes del Postgrado de Endodoncia, Bogotá. Institución Universitaria Colegios de Colombia, UNICOC
2. Odontólogo Especialista en Endodoncia U. Del Bosque, Docente Postgrado de Endodoncia UNICOC
3. Odontólogo UN, Especialista en Currículo y Pedagogía Universidad de los Andes, MSc – PhD(c) en Salud Pública. Centro de Investigación Colegio Odontológico UNICOC

mcgutierrez@unicoc.edu.co

kantolinez@unicoc.edu.co

### ABSTRACT

**Introduction:** The purpose of the following research is to determine the resistance to cyclic fatigue of the RECIPROC® Blue (VDW, Munich, Germany) and Wave-One® Gold (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) instruments, due use on a dynamic test. **Materials and Methods:** 15 RECIPROC® Blue "R25" files and 15 Wave-One® Gold "Primary" files were used, tested on a dynamic cyclic fatigue test with a simulated canal with a curvature of 60 ° and a 5 mm curvature radius. The instruments were used until the fracture occurs; the time and length of the fractured fragment are recorded by a video camera. For resistance due to cyclic fatigue and data on the length of the fractured fragments, the normality hypothesis is tested using the Shapiro-Wilk test. The data obtained on the lengths of the fragments are also subjected of a 1-way analysis of variance. The cyclic fatigue resistance values are analyzed using the Mann Whitney U test and SPSS with a 5% level of significance. **Results:** RECIPROC® Blue "R25" presented higher values of resistance to cyclic fatigue than WaveOne® Gold "Primary" instruments ( $P < .05$ ). There were no significant differences between the groups in terms of the average length of the fragments ( $p > 0.05$ ). **Conclusions:** The RECIPROC® Blue "R25" instruments were significantly more resistant to cyclic fatigue than WaveOne® Gold "Primary" instruments.

**Key words:** cyclic fatigue, bending resistance, Reciproc blue, wave one gold, dynamic test, simulated canals

## RESUMEN

**Introducción:** El propósito de la investigación es determinar la resistencia a la fatiga cíclica de los instrumentos RECIPROC® Blue (VDW, Munich, Germany) y WaveOne® Gold (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland), al ser utilizados mediante un test dinámico. **Materiales y Métodos:** Se usaron 15 limas RECIPROC® Blue “R25” y 15 limas WaveOne® Gold “Primary”, probadas en un test de fatiga cíclica dinámico con un canal simulado con curvatura de 60° y un radio de curvatura de 5mm. Los instrumentos son utilizados hasta que se produzca la fractura, el tiempo y la longitud del fragmento fracturado son grabados mediante una cámara de video. Para la resistencia a la fatiga cíclica y los datos de la longitud de los fragmentos fracturados, se probará la hipótesis de normalidad utilizando la prueba Shapiro-Wilk. Los datos obtenidos sobre las longitudes de los fragmentos también son sometidos a un análisis de varianza de 1 vía. Los valores de resistencia a la fatiga cíclica se analizan utilizando la prueba U de Mann Whitney y SPSS con un nivel de significancia del 5%. **Resultados:** RECIPROC® Blue “R25” presentó valores más altos de resistencia a la fatiga cíclica que los instrumentos WaveOne® Gold “Primary” ( $P < .05$ ). No se observaron diferencias significativas entre los grupos en cuanto a la longitud media de los fragmentos ( $p > 0,05$ ). **Conclusiones:** Los instrumentos RECIPROC® Blue “R25” fueron significativamente más resistentes a la fatiga cíclica que los instrumentos WaveOne® Gold “Primary”.

**Palabras Claves:** fatiga cíclica, resistencia a la flexión, Reciproc blue, wave one gold, prueba dinámica, canales simulados

## INTRODUCCION

La fractura de los instrumentos puede ocurrir de dos maneras diferentes: una fractura causada por torsión y una fractura causada por fatiga cíclica. La fractura por torsión presenta una incidencia del 55,7%(1) y es aquella que ocurre en el momento en que la punta del instrumento u otra parte del mismo se bloquean en un canal mientras el vástago de la lima continua en movimiento. Cuando el límite elástico del metal es excedido por el esfuerzo de torsión ejercido, la fractura es un evento inevitable (2). Mientras tanto, la fractura causada por fatiga cíclica, con una

incidencia de 44,3% (1), es la que se produce debido a la fatiga que puede llegar a sufrir el metal cuando se producen ciclos de tensión y compresión en el punto de máxima flexión hasta que se produce la fractura. (3)

Se han propuesto diferentes estrategias para mejorar la resistencia, propiedades mecánicas, así como también, aumentar las características de los instrumentos rotatorios, como lo son los tratamientos de electropulido, implantación de iones, revestimientos superficiales, y los tratamientos térmicos del instrumento (2,3).

Recientemente, el tratamiento térmico de la aleación de NiTi (Ni: níquel, Ti: Titanio) se ha utilizado para optimizar sus propiedades mecánicas. Los instrumentos son fabricados a partir de un hilo de memoria NiTi sometido a un proceso termo mecánico patentado (CM Wire), el cual proporciona mayor flexibilidad y resistencia (4).

La aleación NiTi consiste en una relación atómica similar de níquel y de titanio, la cual posee propiedades mecánicas como la memoria de forma y mayor elasticidad. Esta aleación experimenta una transformación martensítica inducida por esfuerzo, el cual es reversible, y por lo tanto el instrumento presenta una gama elástica y es capaz de recuperarse de una tensión sin romperse. Esa transformación martensítica termo elástica es la principal razón para aumentar la flexibilidad de los instrumentos NiTi sobre los tradicionales, lo que facilita la instrumentación de los canales radiculares curvos (1).

Además de estas modificaciones, la introducción de la cinemática del movimiento alterno recíprocante ha repercutido en la vida útil general de los instrumentos siendo comparados con el movimiento de rotación continua, en cuanto a que este movimiento genera en los instrumentos unos valores de tensión más bajos buscando evitar esa fatiga en un periodo prolongado de tiempo (4). RECIPROC® (VDW, Munich, Alemania) y WaveOne® (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suiza) son los principales ejemplos de sistemas comercialmente disponibles para la

preparación del conducto radicular utilizando un movimiento alternativo, y ambos instrumentos están fabricados con una aleación tratada térmicamente como lo es el M-Wire (5)

Recientemente se han introducido sistemas como WaveOne® Gold, que utilizan el mismo movimiento alternativo que el Wave-One®. Las limas presentan unas modificaciones y están fabricadas con una metalurgia avanzada y una tecnología de tratamiento térmico para mejorar sus propiedades mecánicas (6). Por otro lado, las sucesoras de las limas RECIPROC®, son las RECIPROC® Blue, que han sido introducidas presentando una aleación recientemente desarrollada que se obtiene mediante un proceso de fabricación termo mecánico en el que se añade una capa superficial de óxido patentado. (7)

Según estudios, se ha evaluado la resistencia a la fatiga cíclica de los instrumentos con movimiento recíprocante y con aleaciones térmicamente tratadas. Sin embargo, pocos estudios abarcan información acerca de dos instrumentos específicos, como lo son, RECIPROC® Blue y WaveOne® Gold. Por tal motivo, la presente investigación tiene como propósito determinar la resistencia a la fatiga cíclica que sufren los instrumentos RECIPROC® Blue y WaveOne® Gold, al ser utilizados mediante un test dinámico y conductos curvos simulados.

## MATERIALES Y METODOS

La presente investigación es de tipo experimental "In Vitro", en la cual se tiene como objeto de estudio los instrumentos "R25" del sistema RECIPROC® Blue, y el instrumento "Primary" del sistema WaveOne® Gold. En cuanto a los criterios de selección, se escogen únicamente los instrumentos "R25" de RECIPROC® Blue, y "Primary" de WaveOne® Gold en las que luego de realizar la inspección a un aumento de 20X bajo estereomicroscopio se encontraran libre de defectos e irregularidades visibles. La muestra fue escogida a través de un muestreo no probabilístico, es decir, a conveniencia a estudios similares. Por lo tanto, el tamaño de muestra de la investigación es de 15 limas "R25" y 15 limas "Primary". Se utilizó un dispositivo de prueba de fatiga cíclica dinámico de acuerdo con los criterios establecidos en estudios previos (8). La prueba de fática cíclica se realizó en un canal artificial en acero inoxidable serie 300, con un diámetro interno de 1,5 mm, ángulo de curvatura de 60°, y un radio de 5mm, estando la punta del instrumento a 7mm de la mitad del segmento curvo (1). Todos los instrumentos se utilizan con un motor endodóntico Silver Reciproc (VDW, Munich, Alemania) conectado al dispositivo dinámico de prueba de fatiga cíclica utilizando el programa "Reciproc ALL" diseñado específicamente para RECIPROC® y el "WaveOne ALL " diseñado específicamente para los instrumentos WaveOne®. Se realiza lubricación del canal artificial. Todos los

instrumentos con longitud establecida a 20mm son operados con un movimiento axial de 3 mm/s hasta que se produzca la fractura del instrumento.

En este punto, el dispositivo se detiene automáticamente y se registra el tiempo de fractura (TF) en segundos, el cual se contabilizara usando un cronómetro y se realiza un registro en video por cada instrumento para verificar el tiempo de fractura. Se registra la fractura, es decir, si se produce una fractura completa o no hay fractura. Además, la longitud del fragmento fracturado se medirá en milímetros para cada instrumento. Luego de producida la fractura se evidenciará a través de la observación por el estereomicroscopio el grado de deformación que sufren los instrumentos.

## ANALISIS ESTADISTICO

Para los datos obtenidos de resistencia a la fatiga cíclica y los datos de la longitud de los fragmentos fracturados, la hipótesis de normalidad se probará utilizando la prueba Shapiro-Wilk. Los datos obtenidos sobre las longitudes de los fragmentos también serán sometidos a un análisis de varianza de 1 vía. Los valores de resistencia a la fatiga cíclica se analizaron utilizando la prueba U de Mann Whitney y SPSS basado en un nivel de significancia de 5%.

## RESULTADOS

La tabla 1 representa la media, mediana y desviación estándar de los valores del tiempo

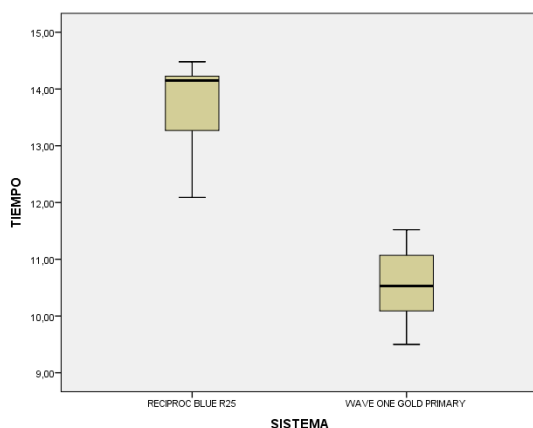
de la fractura para cada instrumento, en la cual no existió una normalidad de los grupos ( $p < 0,05$ , Prueba Shapiro Wilk). Los instrumentos RECIPROC® Blue “R25” se asociaron con los valores más altos de resistencia a la fatiga cíclica que los instrumentos WaveOne Gold “Primary”, mostrando diferencias estadísticas significativas (Fig. 1).

La tabla 2 representan los valores de la longitud del fragmento de los grupos evaluados, teniendo como resultados que no existen diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la longitud media de los fragmentos fracturados ( $p > 0,05$ ) (Fig. 2).

**Tabla 1 Resultados Tiempo de Fractura**

| Estadísticos        | RECIPROC BLUE | WAVE ONE GOLD | Valor p |
|---------------------|---------------|---------------|---------|
|                     | TIEMPO        | TIEMPO        |         |
| Media               | 13,734        | 10,536        | 0,000   |
| Mediana             | 14,15         | 10,53         |         |
| Desviación estándar | 0,7225        | 0,69024       |         |
| Mínimo              | 12,09         | 9,5           |         |
| Máximo              | 14,48         | 11,52         |         |

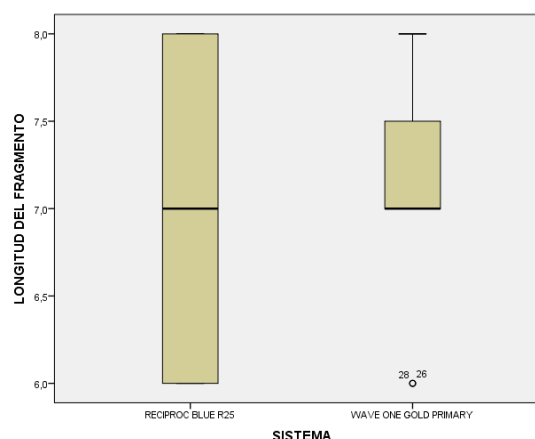
**Figura 1 Gráfica sobre Tiempo**



**Tabla 2 Resultados Longitud del Fragmento**

| Estadísticos        | RECIPROC BLUE          | WAVE ONE GOLD          | Valor p |
|---------------------|------------------------|------------------------|---------|
|                     | LONGITUD DEL FRAGMENTO | LONGITUD DEL FRAGMENTO |         |
| Media               | 7,067                  | 7,1                    | 0,967   |
| Mediana             | 7                      | 7                      |         |
| Desviación estándar | 0,8633                 | 0,6866                 |         |
| Mínimo              | 6                      | 6                      |         |
| Máximo              | 8                      | 8                      |         |

**Figura 2 Gráfica sobre Longitud del Fragmento**



## DISCUSIÓN

El presente estudio experimental “In Vitro” se basa principalmente en comparar la resistencia a la fatiga cíclica de los sistemas reciprocantes, RECIPROC® Blue y WaveOne® Gold, al ser utilizados mediante un test dinámico.

La fatiga cíclica de los instrumentos rotatorios está influenciada por varios factores, entre ellos se encuentran la velocidad y tipo de

rotación, ángulos de curvatura, torque, diseño y características del instrumento, y la aleación en la que se fabrican (9).

Los instrumentos escogidos en esta investigación, los cuales fueron “R25” del sistema RECIPROC® Blue y “Primary” de WaveOne® Gold, han sido introducidos recientemente para ser utilizados específicamente en movimientos alternos reciprocantes. El movimiento alterno reciprocante se desarrolló especialmente para reducir la incidencia de las fracturas, por lo tanto se ha considerado que dicha cinemática del movimiento influye en la resistencia a la fatiga cíclica de los instrumentos de níquel titanio (6,9). Se dice que los instrumentos de movimiento reciprocante viajan a una distancia circunferencial más corta que un instrumento con movimiento continuo, lo cual somete a la lima a valores de tensión mucho más bajos. En consecuencia, un instrumento debería tener una mayor resistencia a la fatiga cíclica cuando se utiliza en movimientos alternos reciprocantes, en lugar de la rotación continua (10).

En este estudio, la prueba de fatiga cíclica se llevó a cabo utilizando los programas pre establecidos del motor, (Silver Reciproc; VDW, Munich, Alemania) “Reciproc ALL” para activar RECIPROC® Blue 25/.08 y “WaveOne ALL” para activar WaveOne® Gold Primary 25/.07. El modo “Reciproc ALL” presenta ángulos de rotación de 150° en sentido anti horario y 30° en sentido de las agujas del reloj, y una velocidad de 300 rpm.

Por otro lado, el modo “WaveOne ALL” presenta ángulos de rotación de 170° anti horario y 50° en sentido de las agujas del reloj, y una velocidad de 350 rpm (11). Estudios previos han demostrado que los ángulos de rotación más grandes durante el movimiento alterno reciprocante y las velocidades de rotación más altas tienden a disminuir el tiempo que tardan en sufrir fatiga cíclica los instrumentos (1,12,13). Sin embargo, en los resultados de otras investigaciones informaron que los modos de “Reciproc ALL” y “WaveOne ALL” de los motores no influyen en la resistencia a la fatiga cíclica de los instrumentos (11,14). Conclusión que se ha vuelto contradictorio según otros autores, quienes reportan que la alteración de la amplitud del movimiento reciproco si representa un factor que puede influir significativamente en la vida de fatiga cíclica de las limas NiTi. (9,10).

Por otro lado, aunque los instrumentos probados en esta investigación presentan los mismos diámetros en la punta (#25), el diseño cónico y transversal, y el tratamiento térmico de dichos instrumentos son diferentes entre ellos. RECIPROC® Blue “R25” y WaveOne® Gold “Primary” presentan conicidades de .08 y .07 respectivamente, en los primeros 3 milímetros apicales. Por lo general, los instrumentos con conicidades inferiores aseguran una mayor resistencia a la fatiga cíclica (11), sin embargo en la presente investigación se mostraron resultados indicando que RECIPROC® Blue R25 con un taper mayor (.08) tiene resistencia a la fatiga

cíclica significativamente más alta que WaveOne® Gold 25/.07. Por lo tanto, no se considerarían las conicidades una variable que haya influenciado los valores de resistencia a la fatiga cíclica en este estudio.

Otras variables como el tratamiento térmico de los instrumentos y el diseño de la sección transversal, representan un factor importante en los resultados de esta investigación. Como bien se mencionó anteriormente, ambos instrumentos escogidos se presentan con tipos de aleaciones diferentes en su fabricación. Los instrumentos NiTi tratados térmicamente muestran cambios de transformación de fase que mejoran la flexibilidad y la resistencia a la fatiga de los instrumentos (15). RECIPROC® Blue presenta una aleación recientemente desarrollada que se obtiene mediante un proceso de fabricación termo mecánico en el que se añade una capa superficial de óxido patentado, el cual ha mostrado un rendimiento general mejorado en comparación con las diferentes aleaciones (NiTi convencional, M-Wire) demostrando flexibilidad mejorada y resistencia a la fatiga. Dicha aleación presenta micro dureza reducida manteniendo las características similares de su superficie (7). Por otro lado, el sistema WaveOne® Gold está fabricado con tratamiento térmico “Gold”. A diferencia de la tecnología M-Wire basada en el tratamiento térmico antes de la producción, el tratamiento “Gold” se realiza calentando y enfriando lentamente la lima después de su producción. Los fabricantes afirman que

dicho tratamiento térmico aumenta la flexibilidad de los instrumentos (16).

Dado los hallazgos y resultados de esta investigación, y de investigaciones previas, se demostró que las limas RECIPROC® Blue podrían beneficiarse de su proceso de fabricación. Es probable que los diferentes tratamientos térmicos entre ellos puedan dar lugar a diferentes transformaciones de fase martensítica y podrían inducir diferentes disipaciones de la energía requerida para la formación y/o propagación de grietas durante las pruebas de fatiga cíclica (11,17). Sin embargo esto debe confirmarse mediante investigaciones adicionales más profundas.

Añadido a esto, la fatiga cíclica está influenciada también por las dimensiones y el diseño de la sección transversal de los instrumentos (2,3,18). RECIPROC® Blue 25/.08 presenta en su diseño en corte transversal una forma de “S” itálica, mientras que WaveOne® Gold 25/.07 tiene una sección transversal en forma de paralelogramo (11). Estudios previos han demostrado que un mayor volumen de masa de metal en el punto máximo de estrés de los instrumentos, afecta la resistencia a la fatiga cíclica (11). Por lo tanto, un diseño transversal diferente si puede ser un determinante importante en la resistencia a la fatiga cíclica de diferentes limas (3).

En un estudio previo demostraron que la masa que presentan los instrumentos en su punto de máxima tensión influye en la vida útil de los instrumentos durante las pruebas

de fatiga cíclica (18). En dicho estudio compararon la resistencia a la fatiga cíclica de los instrumentos Mtwo, con una masa de metal transversal más baja, y los instrumentos Protaper, con una masa de metal transversal más grande, e informaron que cuanto mayor es la masa, menor es la resistencia a la fatiga cíclica (18). Estos resultados de dicha investigación son consistentes con los del presente estudio, en el cual se demuestra que los instrumentos RECIPROC® Blue, con un diseño de corte transversal en forma de “S” son más resistentes que los instrumentos WaveOne® Gold, los cuales presentan una sección transversal de paralelogramo.

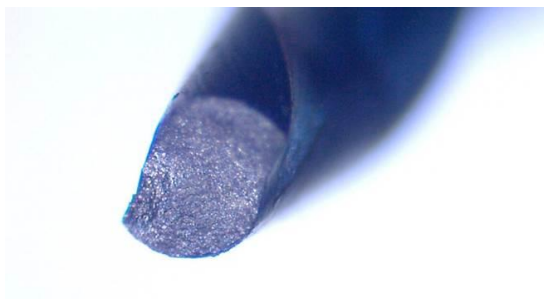
Es necesario destacar que, dentro de las limitaciones de este estudio, las características de los instrumentos, tales como tratamientos térmicos y diseño de corte transversal, tuvieron influencias significativas en las propiedades mecánicas de los instrumentos evaluados. Los resultados mostraron que RECIPROC® Blue 25/.08 tiene la resistencia a la fatiga cíclica más alta en comparación con WaveOne® Gold 25/.07.

Para las pruebas de fatiga cíclica, se han empleado distintos dispositivos utilizando modelos de prueba estáticos y dinámicos. En los modelos estáticos, el instrumento gira en la longitud fija en el canal artificial sin ningún tipo de movimiento axial (19). Mientras que, en los modelos dinámicos existe un movimiento axial de entrada y salida del instrumento con una amplitud de 3 mm/s, como se estableció en esta investigación, y

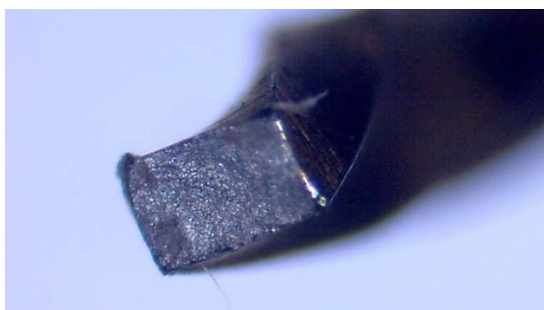
como ha sido utilizado en estudios previos (8,20,21,22,23). Los dispositivos dinámicos se han utilizado recientemente ya que se asemeja un poco más a la realidad clínica que los dispositivos de prueba de fatiga cíclica estáticos (24,25).

En estos modelos dinámicos, el valor del tiempo de fractura aumenta, debido a que la tensión se distribuye a lo largo del eje del instrumento durante los movimientos de entrada y salida en dirección axial, en comparación con los modelos de prueba estáticos en los cuales la tensión se concentra en un área constante y específica (19,20,24).

Para cumplir otro de los objetivos de esta investigación, en cuanto a la longitud del fragmento fracturado no se demostró significativamente alguna diferencia estadística entre los grupos. La fractura de los instrumentos se produjo en o justo debajo del centro de la curva, lo que confirma el posicionamiento preciso de la trayectoria de las limas (26). En cuanto a los análisis de fotografías tomadas bajo el esteromicroscopio, todas las superficies de fractura mostraron características morfológicas dúctiles como se ha observado también en estudios previos (14,20,23) (Imag. 1 y 2).



**Imagen 1 Imagen tomada bajo estereomicroscopio correspondiente a la superficie fracturada del instrumento Reciproc Blue R25**



**Imagen 2 Imagen tomada bajo estereomicroscopio correspondiente a la superficie fracturada del instrumento WaveOne Gold Primary**

## CONCLUSIONES

Los instrumentos RECIPROC® Blue “R25” fueron significativamente más resistentes a la fatiga cíclica que los instrumentos Wave One Gold Primary. La resistencia puede estar asociada con los diferentes procesos térmicos de fabricación de los instrumentos y los diferentes diseños de sección transversal de los mismos. En cuanto a la longitud de los fragmentos no existieron diferencias estadísticas significativas relevantes. Y en cuanto a la deformación que sufrieron los instrumentos, todas las superficies evaluadas mostraron características morfológicas dúctiles similares.

## REFERENCIAS

1. 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(11):1469–76.
2. Pedullà E, Lo Savio F, Boninelli S, Plotino G, Grande NM, La Rosa G, et al. Torsional and Cyclic Fatigue Resistance of a New Nickel-Titanium Instrument Manufactured by Electrical Discharge Machining. *J Endod.* 2016;42(1):156–9.
3. Plotino G, Grande NM, Testarelli L, Gambarini G. Cyclic fatigue of Reciproc and WaveOne reciprocating instruments. *Int Endod J.* 2012;45(7):614–8.
4. Condorelli GG, Bonaccorso A, Smecca E, Schäfer E, Cantatore G, Tripi TR. Improvement of the fatigue resistance of NiTi endodontic files by surface and bulk modifications. *Int Endod J.* 2010;43(10):866–73.
5. Brantley WA, Liu J, Clark WAT, Kovarik L, Buie C, Iijima M, et al. Metallurgical Characterization of new nickel-titanium wire for rotary endodontic instruments. *J Endod* 2009;206(11):49–57.
6. Kiefner P, Ban M, De-Deus G. Is the reciprocating movement per se able to improve the cyclic fatigue resistance of instruments? *Int Endod J.* 2014;47(5):430–6.

7. De-Deus G, Silva EJNL, Vieira VTL, Belladonna FG, Elias CN, Plotino G, et al. Blue Thermomechanical Treatment Optimizes Fatigue Resistance and Flexibility of the Reciproc Files. *J Endod*. 2017;43(3):462–6.
8. Gambarra-Soares T, Lopes HP, Oliveira JCM, Souza LC, Vieira VTL, Elias CN. Dynamic or static cyclic fatigue tests: which best determines the lifespan of endodontic files? *ENDO (I Engl)*. 2013;7(2):101–4.
9. Ferreira F, Adeodato C, Barbosa I, Aboud L, Scelza P, Zaccaro Scelza M. Movement kinematics and cyclic fatigue of NiTi rotary instruments: a systematic review. *Int Endod J*. 2017;50(2):143–52.
10. Plotino G, Ahmed HMA, Grande NM, Cohen S, Bukiet F. Current Assessment of Reciprocation in Endodontic Preparation: A Comprehensive Review - Part II: Properties and Effectiveness. *J Endod*. 2015;41(12):1939–50.
11. Alcalde MP, Antonio M, Duarte H, Bramante CM, Vasconcelos BC De, Tanomaru-filho M, et al. Cyclic fatigue and torsional strength of three different thermally treated reciprocating nickel-titanium instruments. *Clin Oral Inv* 2017;
12. Karataş E, Arslan H, Bükür M, Seçkin F, Çapar ID. Effect of movement kinematics on the cyclic fatigue resistance of nickel-titanium instruments. *Int Endod J*. 2016;49(4):361–4.
13. Arslan H, Alsancak M, Doğanay E, Karataş E, Davut Çapar I, Ertas H. Cyclic fatigue analysis of Reciproc R25® instruments with different kinematics. *Aust Endod J*. 2016;42(1):22–4.
14. Kim HC, Kwak SW, Cheung GSP, Ko DH, Chung SM, Lee W. Cyclic fatigue and torsional resistance of two new nickel-titanium instruments used in reciprocation motion: Reciproc Versus WaveOne. *J Endod*. 2012;38(4):541–4.
15. Hieawy A, Haapasalo M, Zhou H, Wang ZJ, Shen Y. Phase Transformation Behavior and Resistance to Bending and Cyclic Fatigue of ProTaper Gold and ProTaper Universal Instruments. *J Endod*. 2015;41(7):1134–8.
16. Muhammad S, Al-huwaizi H. Evaluation of the Cyclic Fatigue of WaveOne Gold and Reciproc Blue using Different Irrigating Medium. *Int J Med Res Health Sci*. 2018;27–31.
17. Shen Y, Zhou HM, Zheng YF, Peng B, Haapasalo M. Current challenges and concepts of the thermomechanical treatment of nickel-titanium instruments. *J Endod*. 2013;39(2):163–72.
18. Grande NM, Plotino G, Pecci R, Bedini R, Malagnino VA, Somma F. Cyclic fatigue resistance and three-dimensional analysis of instruments from two nickel-titanium rotary systems. *Int Endod J*.

- 2006;39(10):755–63.
19. Lopes HP, Elias CN, Vieira MVB, Siqueira JF, Mangelli M, Lopes WSP, et al. Fatigue life of reciproc and mtwo instruments subjected to static and dynamic tests. *J Endod.* 2013;39(5):693–6.
  20. De-Deus G, Leal Vieira VT, Nogueira Da Silva EJ, Lopes H, Elias CN, Moreira EJ. Bending resistance and dynamic and static cyclic fatigue life of Reciproc and Waveone large instruments. *J Endod.* 2014;40(4):575–9.
  21. Li U-M, Lee B-S, Shih C-T, Lan W-H, Lin C-P. Cyclic fatigue of endodontic nickel titanium rotary instruments: static and dynamic tests. *J Endod.* 2002;28(6):448–51.
  22. Scelza P, Harry D, Silva LE da, Barboza IB, Scelza MZ. A comparison of two reciprocating instruments using bending stress and cyclic fatigue tests. *Braz Oral Res.* 2015;29(1):1–7.
  23. Pruett JP, Clement DJ, Carnes DL. Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments. *J Endod.* 1997;23(2):77–85.
  24. Pedullà E, Lizio A, Scibilia M, Grande NM, Plotino G, Boninelli S, et al. Cyclic fatigue resistance of two nickel–titanium rotary instruments in interrupted rotation. *Int Endod J.* 2017;50(2):194–201.
  25. Topçuoğlu HS, Düzgün S, Aktı A, Topçuoğlu G. Laboratory comparison of cyclic fatigue resistance of WaveOne Gold, Reciproc and WaveOne files in canals with a double curvature. *Int Endod J.* 2017;50(7):713–7.
  26. Topçuoğlu HS, Topçuoğlu G. Cyclic Fatigue Resistance of Reciproc Blue and Reciproc Files in an S-shaped Canal. *J Endod.* 2017;43(10):1679–82.