

Trabajos Originales:

EVALUACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN DE CONDUCTOS RADICULARES CON LIMAS MANUALES Y ROTATORIAS DE NÍQUEL-TITANIO - ASPECTO MORFOLÓGICO DE LAS LIMAS ANTES Y DESPUES

Recibido para arbitraje: 16/04/2007

Aceptado para publicación: 21/05/2007

1. **Dra. Luciana Arantes Porto Carvalho**, doctor en Endodoncia de la Facultad de Odontología, Universidad Estadual Paulista, Araraquara, São Paulo, Brasil.
2. **Dra. Cláudia Ramos Pinheiro**, alumna de maestría en Endodoncia de la Facultad de Odontología, Universidad Estadual Paulista, Araraquara, São Paulo, Brasil.
3. **Dra. Adriana Simionatto Guinesi**, alumna de maestría en Endodoncia de la Facultad de Odontología, Universidad Estadual Paulista, Araraquara, São Paulo, Brasil.
4. **Dr. José Carlos Rivas**, magister y doctor en Endodoncia de la Facultad de Odontología, Universidad Estadual Paulista, Araraquara, São Paulo, Brasil.
5. **Dr. Idomeo Bonetti Filho**, Profesor titular de la Facultad de Odontología, Universidad Estadual Paulista, Araraquara, São Paulo, Brasil.

RESUMEN

En el presente estudio se hizo una evaluación in vitro del preparo del conducto radicular en el nivel apical de raíces mesiales de molares inferiores comparando el aspecto morfológico de la superficie de instrumentos manuales y rotatorios de níquel cromo antes y después de su uso. Se tomaron 30 molares inferiores humanos extraídos, con conductos radiculares mesiovestibulares y mesiolinguales independientes y sin obstrucciones en los cuales fueron evaluados la extensión de transporte del centro axial del conducto radicular, área del conducto radicular desgastada después de la instrumentación y el tiempo empleado para el preparo de dicho conducto. Se realizó el análisis estadístico de Kruskal- Wallis y Test U de Mann Whitney que no encontraron diferencia significativa entre ambas limas en el transporte del centro axial del conducto ni en el área desgastada después de la instrumentación, hubo diferencia significativa en el tiempo empleado y en la alteración de la morfología de las limas antes y después de su uso y las limas rotatorias presentaron mayor cantidad de defectos morfológicos antes y después de su uso.

PALABRAS CLAVE

Conducto radicular, limas de níquel cromo, instrumento manual, instrumento rotatorio.

ABSTRACT

In the following study there was made an in vitro evaluation of the prepare of the radicular conduct at the apical level of mesial roots of inferior molars comparing the morphological aspect of the surface of manual and rotational instruments of nickel chromus before and after their use. There were taken 30 extracted human inferior molars, with independent and non- obstructed mesiovestibular and mesiolingual radicular conducts. In them was evaluated the transport extension of the axial centre of the conduct, wore area of the conduct after instrumentation and time used to prepare the conduct. The statistical evaluation was made according Kruskal- Wallis and Test U of Mann Whitney that did not find significant difference between the lines neither at the transportation of the axial centre of the conduct nor at the wore area after the instrumentation. There was a significant difference at the time used at the prepare and at the morphological alteration of the limes before and after their use and the rotational limes presented more defects before and after their use.

KEY WORDS

Radicular conduct, nickel chromus limes, manual instrument, rotatory instrument.

INTRODUCCIÓN

Los principales objetivos de la preparación del conducto radicular son: modelaje y limpieza del sistema de conductos y mantenimiento de la anatomía original evitando la presencia de eventos iatrogénicos, como la fractura, formación de zip, escalón o perforación(1). Sin embargo, cuando las limas de acero inoxidable son usadas en conductos curvos fallan en la limpieza y modelaje por no conseguir alcanzar al conducto en toda su extensión (2,3,4).

Un instrumento endodóntico ideal, debe ser flexible, resistente a la fractura y con buenas características de corte, por eso, durante la última década, instrumentos de la aleación de níquel-titanio, (Ni-Ti), han sido desarrollados para optimizar la instrumentación durante la terapia endodóntica (5).

La aleación de níquel-titanio presenta memoria elástica, alto grado de flexibilidad, resistencia a la corrosión, además de ser capaz de mantener la curvatura original de los conductos, disminuyendo la presencia de accidentes (6,7,8).

Con el objetivo de mejorar la seguridad durante la instrumentación, disminuir el tiempo de trabajo y crear una continua conicidad, los instrumentos de níquel-titanio representan la primera opción ya que presentan punta inactiva, con radial lands, que propician un mayor contacto con la superficie del conducto, además de poseer diferentes secciones transversales, resistencia superior a la fractura seccional y varias conicidades(9).

Aún cuando se toman precauciones técnicas para evitar la deformación del instrumento, hay probabilidades de fractura debido al desarrollo de fatiga cíclica, sufrido por la aleación de Ni-Ti durante la instrumentación de conductos curvos (10,11,12,13). Siendo así, el desgaste debido al uso de las limas de níquel-titanio es una cuestión de considerable importancia, y fue evaluado por (14,15,16).

Por lo tanto, el propósito de este estudio fue evaluar, in vitro, la instrumentación de conductos radiculares con instrumentos de níquel-titanio manuales Nitiflex (Dentsply / Maillefer S.A., Ballaigues, Suiza) y rotatorio Pow-R (Moyco-Union Broach, PA, USA) a nivel apical de las raíces mesiales de molares inferiores, en relación a: l extensión del transporte del centro axial del conducto radicular, área del conducto radicular desgastada después de la instrumentación, tiempo gastado para la instrumentación del conducto radicular y evaluar comparativamente el aspecto morfológico de la superficie del instrumento antes y después de diez veces de uso.

MATERIAL Y MÉTODO

Fueron seleccionados 30 molares inferiores humanos extraídos, que presentaban conductos radiculares mesio-vestibulares y mesio-linguales independientes y no obstruidos, con grado de curvatura aproximado entre 20 y 35 grados y longitud promedio de 21mm.

El acceso coronario y desgaste compensatorio fueron realizados con fresas esféricas de carburo #2 y Endo-Z (ambas Dentsply / Maillefer - Ballaigues, Suiza). Los conductos radiculares mesiales fueron explorados con limas tipo K n° 10 (Dentsply / Maillefer - Ballaigues, Suiza), hasta el foramen apical, siendo en seguida, radiografiados en sentido mesio-distal y vestibulo-lingual, con las limas en posición, y la longitud real de trabajo establecida a 0,5mm del ápice radiográfico.

Los dientes tuvieron el ápice y el acceso coronario sellados con cera de utilidad, y una línea circunferencial perpendicular a lo largo del eje del diente fue diseñada a 2mm del ápice alrededor de la raíz mesial de cada diente. El diente, preso por la corona por un pedazo de cera utilidad y fue posicionado en el interior de una matriz de silicona pre- confeccionada de forma cónica, expulsiva para arriba y con dos salientes verticales opuestas. La matriz de silicona fue llenada hasta las raíces, con resina poliéster cristal, incolora, y químicamente activada (Resina Polilyte T-208). Los bloques de resina con los dientes fueron seccionados a nivel apical, sobre una línea diseñada anteriormente, con torno en baja rotación Isomet y disco de diamante.

A partir de la matriz de silicona fue confeccionada una mufla de yeso piedra mejorado tipo 4, facilitando la realización del experimento y la posibilidad del análisis del foramen antes y después de la instrumentación (17).

La superficie superior de la sección apical de la raíz mesial de cada diente fue filmada antes y después de la instrumentación de los conductos, con micro video-cámara CCD-Iris (Sony, Japan) acoplada a un estereomicroscópio (Carl Zeiss, West Germany) y conectada a un aparato de televisión y a un video cassette (ambos Panasonic, Japan), posibilitando una ampliación de 24 veces. En seguida las imágenes fueron transferidas para un computador para su medición y archivo de todos los datos.

Los conductos fueron divididos aleatoriamente en dos grupos, con veinte conductos mesiales cada grupo. En el grupo I fue hecha instrumentación manual con limas tipo K de níquel-titanio, Nitiflex; en el grupo II fue hecha instrumentación rotatoria con limas de níquel-titanio Pow-R con micromotor eléctrico y contra-ángulo de reducción de 20:1, con 250 rpm. El tiempo de instrumentación fue cronometrado.

El tercio cervical de los conductos en los dos grupos fue preparado inicialmente con instrumento n° 25 Pow-R de conicidad 0,06mm. La instrumentación de los conductos fue realizado por la técnica clásica de instrumentación. El instrumento apical inicial en el grupo I fue de n° 15, en el grupo II, de n° 20. En los grupos I y II, la instrumentación continuó con las limas n°

20, 25 y 30. Todas las limas utilizadas fueron de conicidad 0,02mm. En el grupo I la instrumentación manual fue realizada con movimiento de limado anticurvatura y la lima era cambiada cuando la anterior quedaba suelta en el conducto. En el Grupo II la instrumentación rotatoria fue realizada con movimientos de "picada" y reintroducida en la longitud real de trabajo por mas cuatro veces. La irrigación fue realizada a cada cambio de lima, con 5ml de solución de hipoclorito de sodio a 1% para cada conducto radicular.

La adquisición de las imágenes de las raíces mesiales después de la instrumentación de los conductos siguió los mismos criterios de adquisición de las imágenes antes de la instrumentación.

El análisis de las imágenes fue hecha a través de la digitalización para observar la extensión del transporte del centro axial del conducto radicular y para observar el área del conducto radicular desgastada después de la instrumentación. La extensión del transporte del centro axial del conducto radicular fue calculada utilizando el Teorema de Pitágoras posibilitando la obtención de la distancia entre los puntos centrales de las imágenes pre y post-instrumentación, sin la necesidad de los valores de las coordenadas X y Y. El área del conducto radicular desgastada fue calculada con la sobreposición de los contornos de los conductos antes y después de la instrumentación. El programa Autocad 2000 ejecutó el cálculo de las áreas y las diferencias entre ellas.

Cinco instrumentos de cada numeración fueron seleccionados aleatoriamente para realizar el análisis morfológico, antes y después de la instrumentación. Para el análisis, las limas fueron lavadas en agua corriente con cepillo y detergente para remover los residuos de dentina y fueron fijadas en placa de resina previamente confeccionada siempre en la misma posición. El análisis fue hecho en MEV con aumento de 75 y 100 veces de los 4mm apicales. La presencia de defectos mayores en las limas solo fue observado con un aumento de 350 veces. Cada lima recibió un valor antes y después de la instrumentación que correspondió a escores de evaluación de su alteración morfológica, y la evaluación de las foto micrografías fue conducida por dos evaluadores calibrados. Los escores fueron: 0- sin deformación visual; 1- borde cortante dentado; 2- borde cortante deformado y arredondeado, y/o dentado y/o con ranuras y/o con defecto en la estructura del metal; 3- deformación de la punta, pérdida de la parte metálica y borde cortante deformado y/o arredondeado y/o dentado o con ranuras; 4- espirales desenrollados y deformación de la punta o de la parte metálica y/o borde cortante deformado y/o arredondeado o dentado o con ranuras; 5- fractura del instrumento. Los resultados fueron sometidos a análisis estadístico.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos fueron sometidos a análisis estadístico por el teste de Kruskal-Wallis, y Teste U de Mann-Whitney ($p < 0,05$), y son demostrados en las tablas siguientes:

Tabla 1 - Valores de probabilidades asociadas a los valores de U obtenidos con la aplicación de la prueba de Mann-Whitney a las medidas de tiempo gastado con la instrumentación, comparándose los resultados dos a dos.

Materiales	Probabilidades asociadas a los valores de U
Nitiflex x Pow-R	0,00*

* significativas en nivel de 0,05.

De acuerdo con los resultados presentados en la tabla 1, se observa que fueron encontradas diferencias significantivas entre los tiempos gastados con el material Nitiflex al ser comparados con Pow-R, siendo que las medidas de tiempo gastado con Nitiflex fueron superiores a las de tiempo gastado con el otro material.

Tabla 2 - Valores de probabilidades asociados a los valores de U obtenidos con la aplicación de la prueba de Mann-Whitney a las medidas de área, de transporte axial de los conductos y del tiempo gastado con la instrumentación, comparándose los resultados de los conductos mesio-vestibulares con los de los mesio-linguales.

Materiales	Probabilidades asociadas a los valores de U
Nitiflex – Área	0,18
Nitiflex – Transporte	0,15
Nitiflex – Tiempo	1,00
Pow-R - Área	0,48
Pow-R - Transporte	0,94
Pow-R - Tiempo	0,43

De acuerdo con los resultados encontrados en la Tabla 2, se observa que no fueron encontradas diferencias significativas entre las medidas comparadas.

Tabla 3 - Valores de probabilidades asociados a los valores de U encontrados con la aplicación de la prueba de Mann-Whitney a los escores de evaluación de las limas, obtenidos en las dos situaciones: "antes" y "después" de la instrumentación, comparándose los resultados dos a dos.

Materiales	Probabilidades asociadas a los valores de U
Antes de la instrumentación Pow-R x Nitiflex	0,0001*
Después a la instrumentación Pow-R x Nitiflex	0,0000*

* significativas en nivel de 0,05.

De acuerdo con los resultados demostrados en la Tabla 3, tanto en la situación anterior, como en la situación posterior a la instrumentación, fueron encontradas diferencias significativas entre los escores de evaluación de las limas Pow-R y Nitiflex, siendo que en los dos casos, los escores de las limas Pow-R fueron los mas elevados.

Tabla 4 - Valores de probabilidades asociados a los valores de t encontrados con la aplicación de la prueba de Wilcoxon a los escores de evaluación de las limas, obtenidos en las dos situaciones: "antes" y "después" de la instrumentación, comparándose los resultados obtenidos con las limas Pow-R y Nitiflex.

Materiales	Probabilidades encontradas
Pow-R	0,0117*
Nitiflex	0,0277*

* significativas en nivel de 0,05.

De acuerdo con los resultados demostrados en la Tabla 4, fueron encontradas diferencias significativas entre los escores de evaluación de las limas Pow-R y Nitiflex, siendo que en los dos casos, los escores obtenidos en la situación posterior a la instrumentación fueron más elevados que los obtenidos en la situación anterior.

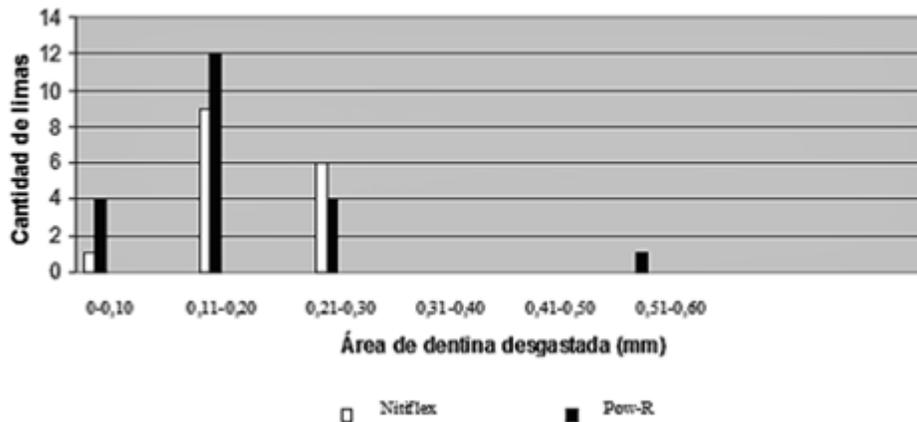


GRÁFICO 1 - Relación de la cantidad de limas de los 2 grupos experimentales con las medidas del área del conducto radicular desgastada después de la instrumentación, en mm.

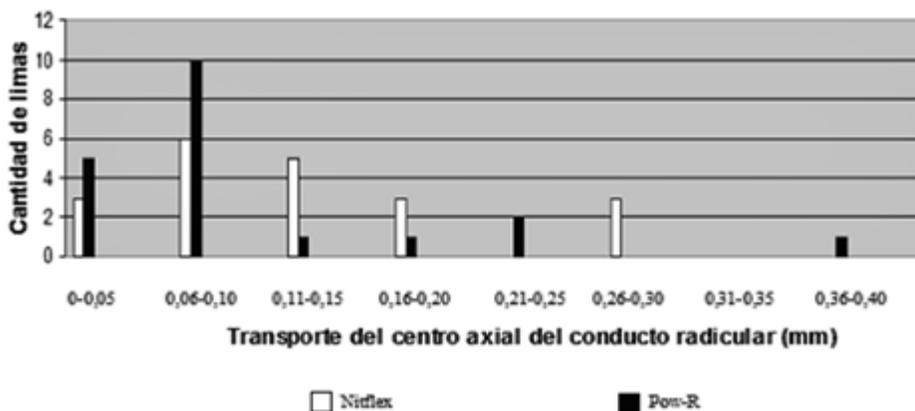


GRÁFICO 2 - Relación de la cantidad de limas de los 2 grupos experimentales con las medidas de extensión del transporte del centro axial del conducto radicular, en mm.

DISCUSIÓN

Los instrumentos rotatorios de níquel-titanio son fundamentales para la instrumentación del conducto radicular, siendo ampliamente usados en Endodoncia (15,12,18,19,13).

Hay una variedad de sistemas rotatorios que los clínicos pueden escoger, los cuales poseen características específicas para facilitar la instrumentación. Así, según un estudio hecho por Di Fiore *et al.* (13) Ellos pueden fracasar y son vulnerables a la fractura, debiendo el dentista tomar en cuenta algunos factores como el tipo de diente tratado y su curvatura, la longitud y

largura del conducto radicular y el número de veces que el instrumento será utilizado.

Instrumentación del conducto radicular:

La capacidad de un instrumento de acompañar la forma original del conducto radicular puede ser evaluada con la instrumentación en bloques de resina o en dientes humanos extraídos (19,20). En nuestro estudio, utilizamos las raíces mesiales de molares inferiores para la evaluación de la instrumentación de los conductos radiculares, en función de sus peculiaridades anatómicas que normalmente generan dificultades para el tratamiento del canal radicular.

El grado de curvatura de las raíces es un parámetro siempre observado en la selección de la muestra ya que auxilia en su padronización. Por eso, empleamos la metodología de Schneider (21) para la medición del grado de curvatura de las raíces por tratarse de un método seguro y práctico que tiene como finalidad eliminar el máximo de variables de la muestra.

Para el estudio de la instrumentación de los conductos radiculares con limas manuales y rotatorias de níquel-titanio utilizamos el método introducido por Bramante *et al.* (17) que tiene la ventaja de permitir la comparación entre los conductos pre y post instrumentados, posibilitando la visualización tridimensional, aproximándose más a la realidad clínica. Nosotros efectuamos algunas modificaciones que básicamente se concentran en la confección de la mufla.

El análisis del transporte del centro axial del conducto radicular de nuestro trabajo siguió la propuesta de Harlan *et al.* (2) y Samyn *et al.* (23). Ellos calcularon el transporte utilizando el Teorema de Pitágoras.

Con la ayuda de los programas de computación en nuestro trabajo, no hubo la necesidad de la obtención de los valores de las coordenadas X y Y ya que el programa que utilizamos (Autocad 2000) dio el punto central de cada conducto de forma automática. Las imágenes de los conductos antes y después de la instrumentación fueron inicialmente delineadas y con eso, los datos fueron instantáneamente obtenidos.

Nuestro trabajo demostró que los dos grupos experimentales permanecieron centralizados en el conducto. Fue interesante observar que no hubo diferencia estadística significativa entre las limas manuales y las rotatorias de níquel-titanio, lo que está de acuerdo con el estudio hecho por Guelzow *et al.* (5) que al comparar limas manuales de Ni-Ti con rotatorias, verificó no haber diferencia entre los grupos con relación al desvío de la luz original del conducto.

En lo que respecta a la no utilización de limas de mucho calibre y la longitud total del conducto, consideramos más conveniente realizar la instrumentación del tercio apical hasta la lima n° 30 en función de la anatomía de los conductos mesiales de los molares inferiores coincidente con un experimento realizado por Lam *et al.* (24) que verificó que la disminución de la flexibilidad de instrumentos por arriba del n° 30 en conductos atrésicos, llevando al desvío y perforación.

En todos los grupos de nuestra pesquisa utilizamos apenas instrumentos de conicidad 0,02mm por milímetro de longitud de la parte activa de la lima. Tuvimos la intención de evaluar los efectos de la instrumentación apenas en el tercio apical de los conductos, observando efectivamente la flexibilidad de las limas, sin preocuparnos con la secuencia clínica preconizada por cada fabricante. Metodología semejante fue empleada por Zandbiglari *et al.* (19) que demostraron que la conicidad 0,02mm aquella que debe ser usada en la instrumentación del tercio apical, con el objetivo de minimizar la posibilidad de accidentes y tornar el diente menos susceptible a la fractura.

Otro parámetro que evaluamos fue el área del conducto desgastada por el instrumento. El programa también nos dio las áreas iniciales, finales y las diferencias entre ellas; correspondiendo al área de la dentina desgastada por la lima. Los dos grupos experimentales de nuestro estudio no produjeron diferencias significativas en cuanto al área desgastada por las limas. Esto indica que no hubo un grupo que se diferenciara por una mayor agresividad de los instrumentos. De hecho, entendemos que el área desgastada corresponde a la cantidad de dentina removida por la lima reflejando su poder de corte. Nuestros datos contradicen un estudio realizado por Bartha *et al.* (25) que al comparar el desgaste promovido por limas manuales y rotatorias, constató ser el grupo de los rotatorios mucho más eficaz en desgastar dentina.

Con el intento de transferir el desempeño de las limas evaluadas para las condiciones clínicas, hallamos de gran importancia el registro del tiempo utilizado durante la instrumentación de cada conducto de la muestra. Este aspecto generó diferencias significativas entre los grupos de nuestra pesquisa. Los valores más elevados fueron obtenidos con el grupo de las limas Nitiflex. Siendo así, la instrumentación rotatoria se mostró más rápida que la manual. Realmente percibimos una facilidad de proceder la instrumentación con las limas rotatorias por la rapidez y practicidad de trabajo, lo que está de acuerdo con el estudio experimental de innumerables autores (12,18,5,25).

Para la evaluación de los aspectos morfológicos de las limas antes y después el uso repetido, encontramos en la literatura pocos estudios abordando la cantidad de veces ideal para la utilización de las limas de níquel y titanio. En este estudio, utilizamos fotomicrografías padronizadas obtenidas por microscopía electrónica de barrido antes y después la instrumentación. Antes de la instrumentación observamos la presencia de eventuales defectos de fábrica que podrían influenciar en los resultados de la segunda evaluación efectuada después de la utilización de las limas en diez conductos radiculares. Así como Hülsmann y Bluhm (26), utilizamos el microscopio electrónico de barrido por ser el método que otorga una mayor ampliación de la superficie de corte del instrumento y para la padronización empleamos también un soporte de resina donde fue posible el mismo posicionamiento de las limas antes y después del uso, y la observación siempre de los mm apicales de las limas

endodónticas. Por medio de un padrón de puntuación utilizamos un aumento progresivo de valores que fueron directamente proporcionales a la cantidad de alteraciones sufridas por la lima. De esa forma, el menor valor (cero) correspondió a ninguna alteración visible y el mayor valor (cinco) correspondió a la fractura del instrumento. Obtuvimos diferencias estadísticas significativas para las limas Pow-R en relación al otro grupo (Nitiflex). Posteriormente, efectuamos la misma evaluación entre los grupos, con los datos obtenidos después de la instrumentación. Más una vez, las limas Pow-R produjeron diferencias significativas en relación a las Nitiflex. Nuestros datos están de acuerdo con un estudio realizado por Hülsmann y Bluhm (26) en dientes extraídos donde el desgaste sufrido por los instrumentos de Nitiflex y rotatorios fue analizado por MEV antes y después de la instrumentación, concluyendo ser el desgaste en los rotatorios muy superior a los manuales en cualquier etapa del tratamiento.

Otra evaluación estadística que efectuamos se refirió al análisis del desgaste sufrido por el instrumento después de su utilización. En ese parámetro, los datos estadísticos demostraron que las limas Pow-R y las Nitiflex presentaron diferencias significativas entre los resultados antes y después de la instrumentación. Por tanto, en esos dos grupos experimentales, las limas sufrieron alteraciones después del uso frecuente. Es interesante observar a través de la puntuación atribuida a cada lima que, de forma general, las limas Nitiflex fueron las que presentaron el menor valor tanto antes como después de la instrumentación. Eso significa que a pesar de haber diferencias estadísticas entre las condiciones pre y post uso, las deformaciones encontradas en este grupo de limas fueron mínimas. Como ejemplo, resaltamos que no hubo ningún caso de fractura con las Nitiflex, hecho que no ocurrió con las limas Pow-R. Hubo tres limas fracturadas entre las Pow-R. Creemos que las fracturas hayan ocurrido por la fatiga del metal debido al uso excesivo del instrumento, ya que en todos los casos, las fracturas acontecieron entre la novena y la décima vez de utilización. Estos resultados son en parte corroborados por un experimento clínico realizado por Di Fiore *et al.* (13) en que las fracturas tanto de los instrumentos manuales como rotatorios ocurrieron después del 4° uso de los mismos.

Por ello, resaltamos que para la ejecución de un trabajo clínico con las limas de níquel-titanio, es imprescindible un control preciso de la cantidad de veces que el instrumento está siendo utilizado. Es de fundamental importancia una constante evaluación detallada a través de una lupa para percibir las condiciones de la superficie metálica de esas limas, con el objetivo de prevenir la posibilidad de fracturas e indeseables fracasos clínicos.

CONCLUSIÓN:

Considerando los resultados obtenidos dentro de las condiciones experimentales propuestas en esta pesquisa, llegamos a las siguientes conclusiones:

- No fue observada diferencia estadística significativa entre las limas Nitiflex y Pow-R en cuanto al transporte del centro axial del conducto radicular.
- Las limas Nitiflex y Pow-R no produjeron diferencias estadísticas significativas en cuanto al área del conducto desgastada después de la instrumentación.
- El tiempo gastado para la instrumentación de cada conducto radicular con las limas Nitiflex fue estadísticamente superior al de Pow-R.
- Las limas Pow-R presentaron una mayor cantidad estadística de defectos morfológicos, en el análisis entre los grupos de limas antes de la instrumentación, así como en el análisis después este procedimiento.
- Las limas Pow-R y Nitiflex presentaron alteraciones morfológicas estadísticas significativas después de diez veces de uso.
- Todas las limas Pow-R y Nitiflex presentaron residuos adheridos a la superficie metálica antes de la primera utilización.

REFERENCIAS

1. RUDDLE CJ. Cleaning and shaping the root canal system. In: Cohen S Bums RC eds. Pathways of Pulp. 8th ed. St. Louis, MO, USA; 1997.
2. BRISEÑO BM, SONNABEND E. The influence of different root canal instruments on root canal preparation: an in vitro study. Int Endod J 1991; 24: 15-23.

3. ALOMARI M A, DUMMER PM, NEWCOMBE RG, DOLLER R. Comparison of six files to prepare simulated root canals. *Int Endod J* 1992; 25: 67-81.
4. SCHÄFER E, TEPEL J, HOPPE W. Properties of endodontic hand instruments used in rotatory motion. Part 2. Instrumentation of curved canals. *J Endod* 1995; 21: 493-7.
5. GUELZOW A, STAMM O, MARTUS P, KIELBASSA AM. Comparative study of six rotatory nickel-titanium systems and hand instrumentation for root canal preparation. *Int Endod J* 2005; 38: 743-52.
6. VERSÜMER J, HÜLSMANN M, SCHÄFERS F. A comparative study of root canal preparation using Profile 04 and Lightspeed rotatory Ni-Ti instruments. *Int Endod J* 2002; 35: 37-46.
7. HÜLSMANN M, GRESSMANN G, SCHÄFERS F. A comparative study of root canal preparation using FlexMaster and HERO 642 rotatory Ni-Ti instruments. *Int Endod J* 2003; 36: 358-66.
8. PAQUÉ F, MUSCH U, HÜLSMANN M. Comparison of root canal preparation using RACE and ProTaper rotatory Ni-Ti instruments. *Int Endod J* 2005; 38: 8-16.
9. THOMPSON SA. An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry. *Int Endod J* 2000; 33: 297-310.
10. PRUETT JP, CLEMENT DJ, CARNES Jr, DL. Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments. *J Endod* 1997; 23: 75-85.
11. HAIKEL Y, SERVATY R, BATEMAN G, SINGER B, ALLEMANN C. Dynamic and cyclic fatigue of engine-driven rotatory nickel-titanium endodontic instruments. *J Endod* 1999; 25: 434-40.
12. BOOTH JR, SHEETZ JP, LEMONS JE, ELEAZER PD. A comparison of torque required to fracture three different nickel-titanium rotatory instruments around curves of the same angle but different radius when bound at the tip. *J Endod* 2003; 29: 55-7.
13. DI FIORE PM, *et al.* Nickel-titanium rotatory instrument fracture: a clinical practice assessment. *Int Endod J* 2006; 39: 700-8.
14. KAZEMI RB, STENMAN E, SPANGBERG LSW. Machining efficiency and wear resistance of nickel-titanium endodontic files. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1996; 81: 596-602.
15. BONETTI FI, ESBERARD RM, LEONARDO RT, DEL RIO CE. Microscopic evaluation of three endodontic files pre and post instrumentation. *J Endod* 1998; 24: 461-3.
16. YARED G, STEIMAN P. Failure of ProFile instruments used with air high torque control and low torque control motors. *Oral Sur Oral Med Oral Pathol Radiol Endod* 2002; 93: 92-6.
17. BRAMANTE CM, BERBERT A, BORGES RP. A methodology for evaluation of root canal instrumentation. *J Endod* 1987; 13: 243-5.
18. BAHIA MGA, BUONO VTL. Decrease in the fatigue resistance of nickel-titanium rotatory instruments after clinical use in curved root canals. *Oral Sur Oral Med Oral Pathol Radiol Endod* 2005; 100: 249-55.
19. ZANDBIGLARI T, DAVIDS H, SCHÄFER E. Influence of instrument taper on the resistance to fracture of endodontically treated roots. *Oral Sur Oral Med Oral Pathol Radiol Endod* 2006; 101: 126-31.
20. PÉCORA JD, CAPELLI A, GUERISOLI DMZ, SPANÓ JCE, ESTRELA C. Influence of cervical preflaring on apical file size determination. *Int Endod J* 2005; 38: 430-35.
21. SCHNEIDER SW. A comparison of canal preparations of straight and curved root canals. *Oral*

Surg Oral Med Oral Pathol 1971; 32: 271-5.

22. HARLAN AL, NICHOLLS JI, STEINER JC. A comparison of curved canal instrumentation using nickel-titanium or stainless steel files with the balanced-force technique. J Endod 1996; 22: 410-3.
23. SAMYN JA, NICHOLLS JI, STEINER JC. Comparison of stainless steel and nickel-titanium instruments in molar root canal preparation. J Endod 1996; 22: 177-81.
24. LAM PPS, PALAMARA JEA, MESSER HH. Fracture strength of tooth roots following canal preparation by hand and rotatory instrumentation. J Endod 2005; 31: 529-32.
25. BARTHA T, *et al*. Extended apical enlargement with hand files versus rotatory Ni-Ti files. Part II. Oral Sur Oral Med Oral Pathol Radiol Endod 2006; 102: 692-7.
26. HÜLSMANN M, BLUHM V. Efficacy, cleaning ability and safety of different rotatory Ni-Ti instruments in root canal retreatment. Int Endod J 2004; 37: 468-76.