

GRADO DE TRANSPORTACIÓN DEL CANAL RADICULAR  
DE TRES SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN ROTATORIA: ESTUDIO A TRAVÉS  
DE TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA CONE BEAM

DEGREE OF ROOT CANAL TRANSPORTATION  
OF THREE ROTARY INSTRUMENTATION SYSTEMS: A CONE-BEAM  
COMPUTED TOMOGRAPHY STUDY

DANIELA SALAZAR<sup>1</sup>, FERMÍN E. GONZÁLEZ<sup>2</sup>, CARMEN LUCÍA GUZMÁN<sup>3</sup>, MARCELA ALCOTA<sup>4</sup>

**RESUMEN. Introducción:** en la preparación del sistema de canales radiculares se debe lograr una conformación progresivamente cónica desde apical hacia coronal, sin generar accidentes de procedimiento. Se define como transportación al cambio de ubicación espacial del canal radicular con respecto a su ubicación original, produciéndose así el desgaste no proporcional de alguna de las paredes dentinarias en relación con la anatomía original de este. Durante la última década, se han fabricado nuevos instrumentos endodónticos rotatorios con base en níquel-titanio (NiTi), lo que provee mayor flexibilidad y resistencia a la fractura, disminuye el tiempo de trabajo y la fatiga del operador, facilitando así la conformación adecuada del canal y reduciendo accidentes durante los procedimientos. **Método:** estudio in vitro, de 45 canales radiculares humanos superiores e inferiores con curvaturas severas seleccionados a través de radiografías convencionales. Se formaron 3 grupos de 15 conductos que fueron preparados con los sistemas de instrumentación rotatoria antes mencionados. Se utilizó tecnología Cone beam para registro de imágenes previas y posteriores a la instrumentación, las que se tomaron a través de rodets de silicona conformando una arcada dentaria con la idea de ser un montaje reproducible posinstrumentación. Se hicieron mediciones en los cortes tomados a los 2, 4, 6, y 8 mm desde el ápice por canal instrumentado, en cada corte se hicieron 4 mediciones, pared vestibular, lingual, furca y cara libre. Los datos obtenidos fueron analizados mediante test Wilcoxon para muestras pareadas y el test ANOVA. **Resultados y conclusiones:** los resultados indican que el sistema ProTaper Universal (Dentsply-Maillefer, Switzerland) produce mayor transportación del canal radicular a nivel del tercio medio en comparación con los sistemas RaCe (FKG-Dentaire, Switzerland) y K3 (SybrondEndo, USA). Además el sistema K3 mostró un desgaste más conservador a los 2, 4 y 6 mm de instrumentación de los canales radiculares haciéndolo recomendable para instrumentación de canales finos y curvos.

**Palabras clave:** canales radiculares, transportación, instrumentación rotatoria, CBCT.

Salazar D, González FE, Guzmán CL, Alcota M. Grado de transportación del canal radicular de tres sistemas de instrumentación rotatoria: estudio a través de tomografía computarizada Cone beam. Rev Fac Odontol Univ Antioq 2013; 24(2): 180-201.

**ABSTRACT. Introduction:** the preparation of root canals should provide a progressively tapered shape from apical towards coronal, without producing procedural errors. Transportation is defined as the change in location of the root canal with respect to its original position, producing unbalanced wear in any of the dentine walls in relation to their original anatomy. New rotary endodontic instruments have been developed during the latest decade with nickel-titanium (NiTi), a material that provides increased flexibility and fracture strength, reduces working time and operator fatigue, and facilitates proper canal preparation while reducing procedural errors. **Method:** this was an in vitro study on 45 upper and lower human root canals with moderate to severe curvatures, selected through conventional radiographs.

- 1 Odontóloga, Universidad de Chile.
- 2 Ph.D. en Ciencias Biomédicas, profesor asistente del Departamento de Odontología Conservadora, Facultad de Odontología, Universidad de Chile.
- 3 Especialista en Radiología Maxilofacial, profesora asistente Departamento de Patología, Facultad de Odontología, Universidad de Chile.
- 4 Especialista en Endodoncia, magíster en Educación en Ciencias de la Salud. Profesora asistente Departamento de Odontología Conservadora, Facultad de Odontología, Universidad de Chile.

- 1 Dentist, Universidad de Chile.
- 2 Ph.D. in Biomedical Sciences, Assistant Professor, Department of Conservative Dentistry, School of Dentistry, Universidad de Chile.
- 3 Maxillofacial Radiology Specialist, Assistant Professor, Department of Pathology, School of Dentistry, Universidad de Chile.
- 4 Endodontics Specialist, M.Ed. in Health Sciences, Assistant Professor, Department of Conservative Dentistry, School of Dentistry, Universidad de Chile.

RECIBIDO: MAYO 8/2012-ACEPTADO: OCTUBRE 9/2012

SUBMITTED: MAY 8/2012-ACCEPTED: OCTOBER 9/2012

*They were sorted out in 3 groups of 15 canals that were prepared with the aforementioned rotary instrumentation systems. The cone beam technology was used to record images before and after instrumentation; these images were obtained by means of a silicon rim that formed a dental arch intended to serve as a post-instrumentation reproducible assembly. Measurements were made in sections taken at 2, 4, 6, and 8 mm from the apex via instrumented canal; four measurements were made in each section: the buccal, lingual, furcation and free side walls. The obtained data were analyzed with the Wilcoxon test for paired samples and the ANOVA test. **Results and conclusions:** the results suggest that the ProTaper Universal system (Dentsply-Maillefer, Switzerland) produces the most root canal transportation at the middle third compared with the RaCe (FKG-Dentaire, Switzerland) and K3 (SybronEndo, USA) systems. Also, the K3 system showed more conservative wear at 2, 4 and 6 mm of root canal instrumentation, which makes it suitable for instrumenting thin and curved canals.*

**Key words:** root canals, transportation, rotary instrumentation, CBCT.

Salazar D, González FE, Guzmán CL, Alcota M. Degree of root canal transportation of three rotary instrumentation systems: a cone-beam computed tomography study. Rev Fac Odontol Univ Antioq 2013; 24(2): 180-201.

## INTRODUCCIÓN

La endodoncia se define como el área de la odontología que estudia la morfología de la cavidad pulpar, fisiología y patología de la pulpa dental, así como la prevención y tratamiento de las alteraciones pulpares y de sus repercusiones sobre los tejidos periapicales.<sup>1</sup> Durante la terapia endodóntica se utilizan distintos tipos de instrumentos como limas manuales de acero inoxidable, limas manuales de NiTi e instrumentos rotatorios, con el fin de preparar y conformar el canal radicular para su posterior obturación.

Los instrumentos utilizados en la preparación quimiomecánica (PQM) poseen dos características en cuanto a su morfología, el *tip* y el *taper*. Tip representa el diámetro en la punta del instrumento y es representado por un número (número ISO) que es estandarizado para todos los instrumentos.<sup>1</sup> A cada número se le asocia un color para fácil reconocimiento de los instrumentos. Taper o conicidad del instrumento es el aumento del diámetro en los instrumentos por cada milímetro de longitud, se mide desde la punta hacia el mango.

La estabilidad dentaria puede verse afectada por los procedimientos de instrumentación de los canales radiculares, ya que el desgaste excesivo influiría de manera directa sobre la estabilidad de la raíz y, por ende, en la sobrevida del diente. Existen estudios que relacionan el efecto de la preparación coronaria y el tratamiento endodóntico sobre la estabilidad del diente, demostrándose la disminución de esta solo en 5% al preparar de manera conservadora la cavidad de acceso, y en 20% cuando se involucran los rebordes marginales (preparación de cavidades MOD).<sup>2</sup> Lang encontró que la preparación de la cavidad de acceso y la preparación para anclaje de postes provocan disminución significativa de la resistencia del diente, en cambio en la etapa de instrumentación del canal radicular, sin alteración extensa de los límites de este, no se produce disminución significativa.

## INTRODUCTION

Endodontics is the field of dentistry that studies the morphology of the pulp cavity, the physiology and pathology of dental pulp, the prevention and treatment of pulpal alterations and their effects on periapical tissues.<sup>1</sup> The endodontic therapy requires different types of instruments, such as stainless steel hand files, NiTi hand files, and rotary instruments, in order to prepare and shape the root canal for obturation.

The instruments used in chemomechanical preparation (CMP) have two basic morphological characteristics: tip and taper. The tip refers to the diameter at the tip of the instrument and is represented by a number (ISO number)—standardized for all the instruments—.<sup>1</sup> Each number is associated with a color for easy recognition of the instruments. On the other hand, taper refers to the increase in diameter for each millimeter of length, measured from tip to handle.

Tooth stability may be affected by instrumentation procedures on root canals, since excessive wear may directly influence root stability and thus tooth survival. Some studies have demonstrated the effect of crown preparation and endodontic treatment on tooth stability, by showing a stability decrease of only 5% with conservative preparation of the access cavity, compared to a decrease of 20% when marginal ridges are involved (MOD cavity preparation).<sup>2</sup> Lang found out that both access cavity preparation and anchor post preparation cause significant decrease of tooth resistance, whereas during the phase of root canal instrumentation, without much alteration of the canal's borders, no significant decrease occurs.

Por lo tanto, preparaciones más conservadoras resultan en alteraciones menores, siempre y cuando la geometría del canal sea preservada.<sup>3</sup>

Durante la preparación quimiomecánica del canal radicular pueden ocurrir accidentes de procedimientos como bloqueos o taponamientos, escalones, perforaciones, fractura de instrumentos y transportación del canal radicular. Se define transportación como la remoción excesiva de dentina, en forma irregular, de algunas de las paredes del canal, desplazándolo de su posición original y modificando su geometría natural.<sup>4</sup> Para evitar la ocurrencia de este fenómeno se ha trabajado en el desarrollo de técnicas e instrumentos utilizando una aleación de níquel-titanio (NiTi) en la confección de limas, lo que las hace más flexibles que las limas clásicas de acero inoxidable y más resistentes a la fractura. Algunas de las ventajas son mejorar la entrada a los canales radiculares, disminuir los escalones y la transportación, menos probabilidad de rotura, acelera la instrumentación, disminuye la tensión en las paredes de los conductos durante la obturación,<sup>5</sup> menor esfuerzo del operador, menos posibilidad de taponamiento apical, mejor remoción de detritus y una obturación más simple del canal con técnicas termoplásticas.<sup>6</sup>

Chen y Messer compararon la capacidad de conformación de las limas manuales, de acero inoxidable, versus la instrumentación usando sistemas rotatorios de NiTi. Concluyeron que las limas de acero inoxidable, debido a su rigidez, provocan una deformación de la forma natural de los canales curvos, ensanchamiento del foramen apical, transportación apical, formación de zip y codos del tercio medio del canal, a diferencia de las limas de NiTi.<sup>7</sup>

Los canales curvos fueron definidos por Schneider en el año 1971 como el ángulo formado por la proyección del eje dentario y la tangente del ápice radicular, según el ángulo se clasifican en tres categorías: leve (9° o menos), moderada (entre 10 y 24°) y severa (25 a 70°).<sup>8</sup>

En este estudio se utilizaron tres de los sistemas de instrumentación mecanizada disponibles en el mercado nacional en Chile: ProTaper Universal, RaCe y K3.

Javaheri y Javaheri recomiendan el uso de limas ProTaper en combinación con otros sistemas de instrumentación rotatoria más flexibles y con menos taper, como RaCe en canales curvos,<sup>9</sup> en cambio Yoshimine y Akamine descartan el uso de ProTaper, ya que causa

Therefore, more conservative preparations result in fewer alterations, as long as canal geometry is preserved.<sup>3</sup>

During chemomechanical preparation of the root canal, some procedural errors may happen, such as clogging, drilling, fractures, and root canal transportation. The latter is defined as the excessive removal of dentin from some root canal walls in an irregular manner, resulting in a change in position in relation to its original location, and modifying the canal's original natural geometry.<sup>4</sup> To prevent this incident, new techniques and instruments have been developed with the use of a nickel-titanium alloy (NiTi) in the production of files, which are therefore more flexible than conventional stainless steel files and more resistant to fracture. Some of their advantages include improved canal accessibility, fewer transportation risks and less likelihood of breakage; they also speed up instrumentation, decrease canal wall stress during obturation,<sup>5</sup> require less effort by the operator, imply less risk of apical obstruction, and offer better removal of debris and simpler canal obturation by means of thermoplastic techniques.<sup>6</sup>

Chen and Messer compared stainless steel hand files and NiTi rotary systems and concluded that, due to their rigidity, stainless steel files cause deformation of naturally curved canals, as well as widening of the apical foramen, apical transportation, and zip-elbow formation at the canal's mid third, unlike NiTi files.<sup>7</sup>

Curved canals were defined by Schneider in 1971 as the angle formed by the projection of the dental axis and the tangent of the root apex; according to the angle, they are classified into three categories: mild (9° or less), moderate (10 to 24°), and severe (25-70°).<sup>8</sup>

This study evaluated three mechanical instrumentation systems available in the domestic market in Chile: ProTaper Universal, RaCe, and K3.

For curved root canals, Javaheri and Javaheri recommend the use of ProTaper files in combination with other rotary systems with more flexibility and less taper (such as RaCe),<sup>9</sup> while Yoshimine and Akamine discard the use of ProTaper because it causes

gran ensanchamiento del canal radicular en comparación con otros sistemas más flexibles como son K3 y RaCe, además concluyeron que ProTaper muestra la tendencia a conformar escalones y zip al final de las preparaciones, probablemente, debido al gran taper de este instrumento.<sup>10</sup>

Al-Sudani y col., compararon 3 sistemas de instrumentación rotatoria; el sistema RaCe muestra menor transportación del canal en comparación con el sistema K3.<sup>11</sup> Más recientemente, Miramontes y col.(2009) realizaron un estudio cuyos resultados son controversiales ya que muestra que el desgaste producido por K3 es significativamente mayor que el producido por ProTaper Universal a nivel del tercio medio; mientras que a nivel apical el sistema ProTaper muestra mayor modificación del ángulo de la curvatura de las raíces en comparación con K3. Los dos sistemas anteriores no mostraron diferencias significativas en la transportación final del conducto.<sup>12</sup> Oliveira y col. hicieron un estudio donde se comparan los tres sistemas de instrumentación rotatoria, el cual no muestra diferencias significativas en la transportación del tercio apical de molares cuando se utilizaban estos sistemas de instrumentación.<sup>13</sup>

Debido a estos controvertidos resultados nace la necesidad de hacer este estudio, donde el propósito será comparar *in vitro* el grado de transportación del tercio medio radicular y zona apical de estos tres sistemas de instrumentación, mediante el análisis de imágenes obtenidas con tomografía computarizada de haz cónico, que según la evidencia publicada permite la visualización del canal antes, durante y después de la preparación biomecánica, entregando una reproducción del diente en tres dimensiones.<sup>14</sup>

## MÉTODOS

Este trabajo es un estudio de tipo experimental *in vitro*, en que se comparó la transportación del canal radicular de tres sistemas de instrumentación rotatoria: Protaper Universal (Dentsply-Maillefer, Switzerland), RaCe (FKG-Dentaire, Switzerland) y K3 (SybrondEndo, USA).

Se comparó la cantidad de desgaste dentinario entre las paredes del canal radicular al hacer la preparación quimiomecánica con los diferentes tipos de instrumentación rotatoria.

Variable independiente: tipo de técnica de instrumentación.

Variable dependiente: desgaste dentinario del canal radicular.

enlargement of the root canal compared with more flexible systems such as K3 and RaCe; they also concluded that ProTaper shows a tendency to form zip and ledges by the end of the preparations, probably due to the large taper of this instrument.<sup>10</sup>

A study carried out by Al-Sudani et al. compared three rotary instrumentation systems, showing that the RaCe system is the one that produces less canal transportation compared to the K3 system.<sup>11</sup> More recently, Miramontes et al. (2009) yielded controversial results because it showed that the K3 system produced a kind of tooth wear significantly greater than that produced by the ProTaper Universal system at the canal third, while at the apical level the ProTaper system shows greater modification of root angle curvature compared with K3. These two systems showed no significant difference in final canal transportation.<sup>12</sup> Oliveira et al. compared the three rotary instrumentation systems, with no significant difference in transportation of the molars apical third when using these instrumentation systems.<sup>13</sup>

These controversial results motivated the present *in vitro* study, with the purpose of comparing the degree of root transportation of three instrumentation systems, by analyzing images obtained with cone beam computed tomography that, according to published evidence, allows viewing the canal before, during and after biomechanical preparation, providing a three-dimensional reproduction of the tooth.<sup>14</sup>

## METHODS

This was an experimental *in vitro* study that compared the root canal transportation of three rotary instrumentation systems: ProTaper Universal (Dentsply-Maillefer, Switzerland), RaCe (FKG-Dentaire, Switzerland), and K3 (SybrondEndo, USA).

It also compared the amount of dentine wear in root canal walls during chemomechanical preparation with different types of rotary instrumentation.

Independent variable: type of instrumentation technique.

Dependent variable: root canal dentin wear.

La muestra consistió en 45 canales radiculares de molares humanos obtenidos del set de dientes utilizados por estudiantes de Odontología en su práctica preclínica, los cuales fueron extraídos debido a variadas indicaciones y recolectados de diferentes servicios dentales hospitalarios. Para este trabajo la muestra debía presentar los siguientes criterios de inclusión:

1. Canales radiculares de primeros o segundos molares superiores e inferiores.
2. Canales radiculares finos.
3. Curvaturas radiculares entre 25 y 35°, de acuerdo con el coeficiente de curvatura de S. W. Schneider,<sup>8</sup> para estandarizar la muestra con respecto a esta variable.
4. Canales radiculares con formación radicular completa.

Los criterios de exclusión fueron:

- a. Molares con raíces fusionadas
- b. Molares con cierre apical y formación radicular incompleta
- c. Molares con caries radicular
- d. Molares con fractura radicular
- e. Molares con canales radiculares calcificados o atrésicos
- f. Molares con tratamiento endodóntico previo.

A los molares preseleccionados mediante inspección morfológica, se les tomó una radiografía convencional para verificar la permeabilidad y la curvatura de los conductos según criterio de inclusión (figura 1).

Los molares extraídos fueron mantenidos en una solución de formalina buffer al 10% hasta su proceso de desinfección y conservación, con las siguientes etapas:

- Se hirvieron en un recipiente tapado durante 30 minutos en agua corriente (50%) e hipoclorito de sodio (50%).
- Luego se lavaron con un cepillo y detergente para eliminar los restos de tejido adheridos.
- Se enjuagaron y secaron con papel absorbente.
- Se conservaron en una solución hidratante compuesta de agua oxigenada de 10 volúmenes (50%) y glicerina (50%) hasta el momento de ser utilizados.

The sample consisted of 45 root canals of human molars obtained from a set of teeth used by dentistry students in pre-clinical practicum, which were extracted due to various indications and collected from different clinical services. The sample had to meet the following inclusion criteria:

1. Root canals of first or second upper and lower molars.
2. Thin root canals.
3. Root curvatures between 25 and 35°, according to the curvature coefficient by S. W. Schneider,<sup>8</sup> to standardize the sample with this variable.
4. Root canals with full root formation.

The exclusion criteria were:

- a. Molars with fused roots
- b. Molars with apical closure and incomplete root formation
- c. Molars with root caries
- d. Molars with root fracture
- e. Molars with calcified or atretic root canals
- f. Molars with previous endodontic treatment.

The molars were preselected by morphological inspection and conventional radiographs were taken to verify permeability and curvature of root canals according to inclusion criteria (figure 1).

The extracted molars were kept in a buffer solution of 10% formalin until the process of disinfection and preservation, following these steps:

- They were boiled in a covered container for 30 minutes in running water (50%) and sodium hypochlorite (50%).
- Then they were cleansed with a brush and detergent to remove remaining tissue debris.
- They were rinsed and dried with paper towels.
- They were stored in a hydrating solution composed of 10 volume hydrogen peroxide (50%) and glycerin (50%) until use.

Se hizo la apertura cameral utilizando fresas de alta y baja velocidad con abundante irrigación.

Para estandarizar la toma del Cone beam se hizo un rodete silicona pesada donde se montaron los molares, conformando un molde que permitió la toma imageneológica preoperatoria y posoperatoria en la misma angulación y sentido de la curvatura del molar (figura 2).

El equipo utilizado para escanear la muestra fue Sirona Dental Systems GmbH modelo GALILEOS, con potencia nominal de 0,6 kW a 85 kV/7 mA (figura 3).

La imágenes fueron almacenadas para su análisis y comparación con las imágenes obtenidas posinstrumentación.

The canal opening was made with high- and low-speed burs and abundant irrigation.

To standardize the cone beam images, a heavy silicon rim was designed in order to mount the molars on it, forming a mold that facilitated preoperative and postoperative image taking at the same angle and direction of the molar curvature (figure 2).

The equipment used to scan the sample was Sirona Dental Systems GmbH GALILEOS model with nominal power of 0.6 kW at 85 kV / 7 mA (figure 3).

The images were stored for analysis and comparison with the post-instrumentation images.



Figura 1. Radiografía periapical para definir el grado de curvatura radicular

Figure 1. Periapical radiograph to define the degree of root curvature



Figura 2. Molares montados en rodetes de silicona

Figure 2. Molars mounted on silicon rims



Figura 3. Equipo GALILEOS (Sirona Dental Systems GmbH)

Figure 3. GALILEOS Equipment (Sirona Dental Systems GmbH)

## Procedimiento de instrumentación

La muestra se dividió en 3 grupos de estudio de 15 canales radiculares, seleccionada al azar:

Grupo N.º 1: se instrumentó mecánicamente con el sistema ProTaper Universal (Dentsply-Maillefer, Switzerland).

Grupo N.º 2: se instrumentó mecánicamente con el sistema RaCe (FKG-Dentaire, Switzerland).

Grupo N.º 3: se instrumentó mecánicamente con el sistema K3 (SybrondEndo, USA).

## Instrumentation procedure

The sample was divided into 3 groups of 15 root canals, randomly selected:

Group 1: Mechanically instrumented with the ProTaper Universal system (Dentsply-Maillefer, Switzerland).

Group 2: Mechanically instrumented with the RaCe system (FKG-Dentaire, Switzerland).

Group 3: Mechanically instrumented with the K3 system (SybrondEndo, USA).

Posteriormente, se buscó la longitud de trabajo en cada molar utilizando una lima K N.º 10, se introdujo en cada conducto hasta llegar a ras del foramen apical, se midió la distancia y se restó 1 mm.

La irrigación que se utilizó durante el procedimiento de instrumentación fue hipoclorito de sodio al 5,25% con volumen de 1 ml antes y después de cada instrumento, con la aguja irrigadora lo más apical posible con apoyo en una de las paredes y antes de que ajustara al canal radicular, es decir, que quedara holgada dentro del conducto.

La instrumentación mecanizada fue hecha por un solo operador, según las indicaciones de cada fabricante para conductos con curvaturas severas. Los instrumentos fueron utilizados haciendo movimientos corono-apicales y se utilizó un set de limas por cada 5 canales.

Se utilizó el motor X Smart Dentsply Maillefer con velocidad de 300 rpm y un torque 2 de manera de estandarizar las variables debido a que estos valores se encuentran dentro de los rangos recomendados por los fabricantes para todos los sistemas rotatorios utilizados en este estudio.

## Grupos experimentales

Grupo N.º 1: instrumentación mecanizada con sistema ProTaper Universal (figura 4).

Se instrumentaron los canales de acuerdo con las instrucciones del fabricante para casos de dificultad severa hasta la lima F3 diámetro apical 30.

## Secuencia de trabajo utilizada

Lima K N.º 10 a longitud clínica real

Lima K N.º 10 a-5 mm de LT

Lima K Flexo-File N.º 15 a-5 mm de LT

ProTaper Universal S<sub>1</sub> a-5 mm de LT

Lima K Flexo-File N.º 15 a LT

ProTaper Universal S<sub>1</sub> a LT

ProTaper Universal S<sub>2</sub> a LT

ProTaper Universal F<sub>1</sub> a LT

ProTaper Universal F<sub>2</sub> a LT

ProTaper Universal F<sub>3</sub> a LT

We then calculated the working length for each molar using a #10 K file, which was introduced in each canal up to the apical foramen; the distance was measured and 1 mm was subtracted.

During the instrumentation phase, the samples were irrigated with 5.25% sodium hypochlorite at a volume of 1 ml before and after each instrument, placing the irrigating needle as apically as possible resting on one of the walls but loose inside the canal.

The mechanical instrumentation was performed by a single operator, as specified by each manufacturer for root canals with severe curvatures. The instruments were moved in a coronal-apical direction and a set of files was used for each 5 canals.

We used an X Smart Dentsply Maillefer engine with a speed of 300 rpm and a torque 2 so as to standardize the variables because these values were within the ranges recommended by the manufacturers of the rotary systems under study.

## Experimental groups

Group 1: Mechanical instrumentation with the ProTaper Universal system (figure 4).

The canals were instrumented according to the manufacturer's instructions in case of severe difficulty up to file F3, 30 apical diameter.

## Working sequence

No. 10 K file at an actual clinical length

No. 10 K file at -5 mm from TL

K Flexo-File No. 15 at -5 mm from TL

ProTaper Universal S<sub>1</sub> at -5 mm from TL

K Flexo-File No. 15 at TL

ProTaper Universal S<sub>1</sub> at TL

ProTaper Universal S<sub>2</sub> at TL

ProTaper Universal F<sub>1</sub> at TL

ProTaper Universal F<sub>2</sub> at TL

ProTaper Universal F<sub>3</sub> at TL



Figura 4. Set de limas ProTaper Universal, XtremRaCe y K3 VTVT

Figure 4. Set of ProTaper Universal, XtremRaCe and K3 VTVT files

Grupo N.º 2: instrumentación mecanizada con sistema RaCe (figura 4).

Se instrumentaron los canales con instrumentos para conductos de elevada complejidad: Xtreme RaCe. Se finalizó la instrumentación con lima con conicidad 4% diámetro apical 30.

Secuencia de trabajo utilizada:

Lima K N.º 10 a longitud clínica real

Lima K N.º 10 a LT

RaCe PreRace N.º 40 y conicidad 10% a-5 mm de LT

RaCe PreRace N.º 35 y conicidad 8% a-5 mm de LT

RaCe N.º 15 y conicidad 2% a LT

RaCe N.º 20 y conicidad 2% a LT

RaCe N.º 25 y conicidad 2% a LT

RaCe N.º 30 y conicidad 4% a LT

Grupo N.º 3: instrumentación mecanizada con sistema K3 (figura 4).

Se instrumentaron los canales de acuerdo con las instrucciones del fabricante para casos de conductos curvos o estrechos, siendo la lima de terminación de diámetro apical 30 taper 4%.

Secuencia de trabajo utilizada:

Lima K N.º 10 a longitud clínica real

K3 OO N.º 25 y conicidad 0,10 a-5 mm de LT

K3 OO N.º 25 y conicidad 0,08 a-5 mm de LT

Group 2: Mechanical instrumentation with the RaCe system (figure 4).

The canals were prepared with instruments for highly complex canals: Xtreme RaCe. Instrumentation was completed with a 4% tapered file, 30 apical diameter.

Working sequence:

No. 10 K file to an actual clinical length

No. 10 K file at TL

No. 40 RaCe PreRace and 10% taper at -5 mm from TL

No. 35 RaCe PreRace and 8% taper at -5 mm from TL

No. 15 RaCe and 2% taper at TL

No. 20 RaCe and 2% taper at TL

No. 25 RaCe and 2% taper at TL

No. 30 RaCe and 4% taper at TL

Group 3: Mechanical instrumentation with the K3 system (Figure 4).

The canals were instrumented according to the manufacturer's instructions in case of curved or narrow canals; the final file was the one of 4% taper and 30 apical diameter.

Working sequence:

No. 10 K file to an actual clinical length

No. 25 K3 OO and 0.10 taper at -5 mm from TL

No. 25 K3 OO and 0.08 taper at -5 mm from TL

K3 N.º 35 y conicidad 0,06 a-5 mm de LT

K3 N.º 30 y conicidad 0,04 a-5 mm de LT

K3 N.º 20 y conicidad 0,04 a LT

K3 N.º 25 y conicidad 0,06 a LT

K3 N.º 30 y conicidad 0,04 a LT

Durante el procedimiento de instrumentación mecanizada, fueron fracturados 2 instrumentos F3 del sistema ProTaper Universal, por lo que estos canales radiculares fueron reemplazados, obteniendo la muestra total de 45 canales instrumentados.

Una vez instrumentados todos los canales, se tomó una nueva imagen con Cone beam bajo las mismas condiciones preinstrumentación. Las imágenes obtenidas pre- y posinstrumentación fueron digitalizadas y guardadas para su análisis, lo cual se hizo mediante el *software* GALAXIS para GALILEOS®.

Se analizó, por cada conducto radicular, cuatro imágenes, tomadas a los 2, 4, 6 y 8 mm desde el foramen apical tomadas pre- y posinstrumentación (figuras 5 y 6).

Se asignó una numeración arbitraria desde el 1 hasta el 45 para evitar sesgo y hacer el estudio de tipo ciego.

No. 35 K3 and 0,06 taper at -5 mm from TL

No. 30 K3 and 0,04 taper at -5 mm from TL

No. 20 K3 and 0,04 taper at TL

No. 25 K3 and 0,06 taper at TL

No. 30 K3 and 0,04 taper at TL

During mechanical instrumentation, two F3 instruments of the ProTaper Universal system broke, so these root canals were replaced, for a total sample of 45 instrumented channels.

Once all the canals had been instrumented, new cone beam images were taken under the same pre-instrumentation conditions. The pre- and post-instrumentation images were digitized and stored for analysis by means of the GALAXIS for GALILEOS® software.

Four pre- and post-instrumentation images were analyzed for each root canal at 2, 4, 6 and 8 mm from the apical foramen (figures 5 and 6).

A random numbering from 1 to 45 was assigned in order to avoid bias and to conduct a blind type of study.

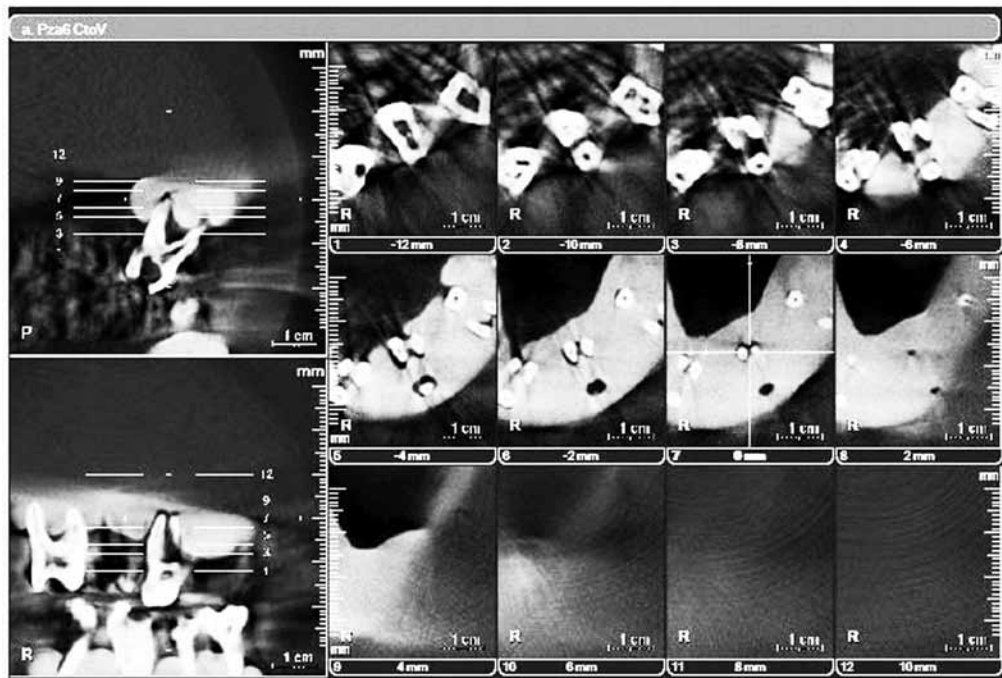


Figura 5. Imágenes de un molar preinstrumentación  
Figure 5. Images of a molar before instrumentation

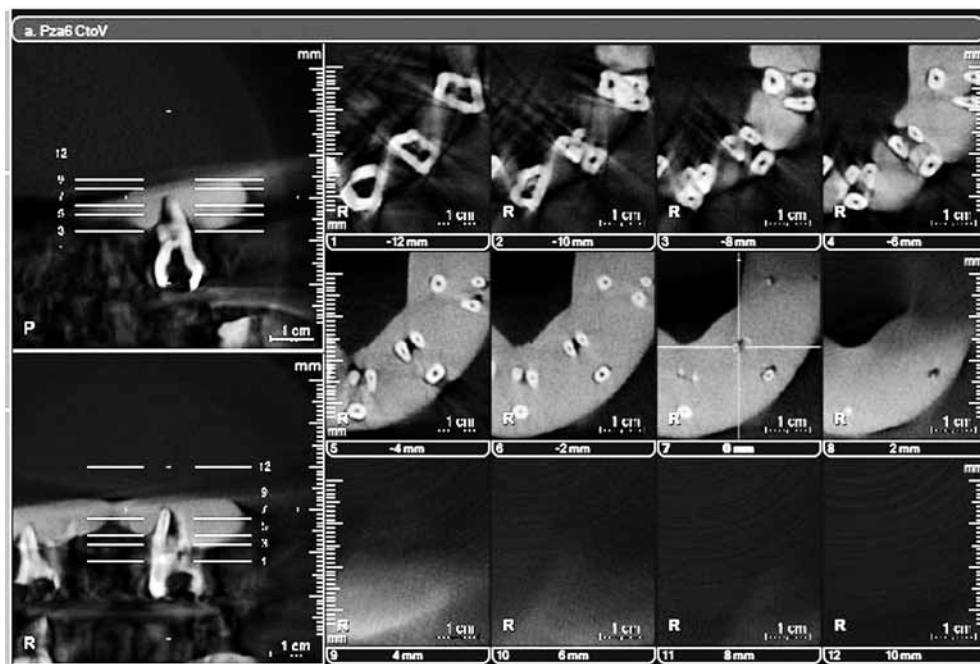


Figura 6. Imágenes de un molar posinstrumentación  
Figure 6. Images of a molar after instrumentation

Se hizo un test de calibración intraobservador para medidas repetidas, para establecer la confiabilidad de las mediciones. Este consistió en hacer medidas en una raíz elegida al azar, la que se midió de la misma forma y con el mismo sistema computacional, dos veces al día durante cinco días. Una vez obtenidos los valores se aplicó el test estadístico t-test para muestras dependientes.

Para evaluar el grado de transportación del canal se utilizó una técnica propuesta por Gambill y colaboradores,<sup>15</sup> modificada, que mide la transportación del conducto en sentido mesiodistal y vestibulo palatino/lingual (figura 7).

Dirección mesiodistal: (CL1-CL2) - (CF1-CF2)

Dirección vestibulo palatino/lingual: (V1-V2) - (PL1-PL2)

Donde:

CL1: distancia más corta desde el borde de la cara libre de la periferia de la raíz al borde de la cara libre del canal no instrumentado.

CL2: distancia más corta desde el borde de la cara libre de la raíz al borde de la cara libre del canal instrumentado.

An intraobserver calibration test was conducted for repeated measures in order to establish reliability. This consisted of measurements on a randomly selected root, in the same way and with the same computer system, twice a day for five days. After obtaining the values, the statistical t-test for dependent samples was applied.

To assess the degree of canal transportation, a modified technique proposed by Gambill et al. was used<sup>15</sup> in order to measure canal transportation in both mesiodistal and buccal palatal / lingual directions (figure 7).

Mesiodistal direction (FrS1-FrS2) - (FcS1, FcS2)

Buccal palatal / lingual direction: (B1-B2) - (PL1, PL2)

Where:

FrS1: the shortest distance from the free side edge of the root periphery to the free side edge of a non-instrumented canal.

FrS2: the shortest distance from the free side edge of the root to the free side edge of an instrumented canal.

CF1: distancia más corta del borde de la cara furcal de la periferia de la raíz al borde de la cara furcal del canal no instrumentado.

CF2: distancia más corta desde el borde de la cara furcal de la raíz al borde de la cara furcal del canal instrumentado.

V1: distancia más corta desde el borde vestibular de la periferia de la raíz al canal no instrumentado.

V2: distancia más corta desde el borde vestibular de la raíz al borde vestibular del canal instrumentado.

PL1: distancia más corta del borde palatino/lingual de la raíz al borde distal del canal no instrumentado.

PL2: distancia más corta del borde palatino/lingual de la raíz al borde palatino/lingual del canal instrumentado.

De acuerdo con esta fórmula un resultado 0 indica que no hay transportación, un resultado distinto de 0 habla de que sí ha ocurrido transportación del canal. Además, se evaluó la dirección de la transportación en la que un resultado negativo indica transportación hacia la porción de la cara furcal o palatino/lingual, un resultado positivo hacia la porción de la cara libre o vestibular y un resultado nulo, indica la ausencia de transportación.

Los datos obtenidos fueron tabulados en el programa Microsoft Office Excel 2007®.

FcS1: the shortest distance from the furcation side edge of the root periphery to the furcation side edge of a non-instrumented canal.

FcS2: the shortest distance from the edge of the furcation side of the root to furcation side of the instrumented canal.

B1: the shortest distance from the buccal edge of the root periphery to a non-instrumented canal.

B2: the shortest distance from the buccal edge of the root to the buccal edge of an instrumented canal.

PL1: the shortest distance from the palatal / lingual edge of the root to the distal edge of a non-instrumented canal.

PL2: the shortest distance from the palatal / lingual edge of the root to the palatal / lingual edge of an instrumented canal.

According to this formula, a result of 0 indicates no transportation, while a result other than 0 implies that canal transportation has occurred. We also assessed the direction of transportation, showing that a negative result indicates transportation towards the furcation or palatal / lingual portion, a positive result suggests transportation towards the buccal or free side portion, and a null result indicates absence of transportation.

The obtained data were tabulated in Microsoft Office Excel 2007®.

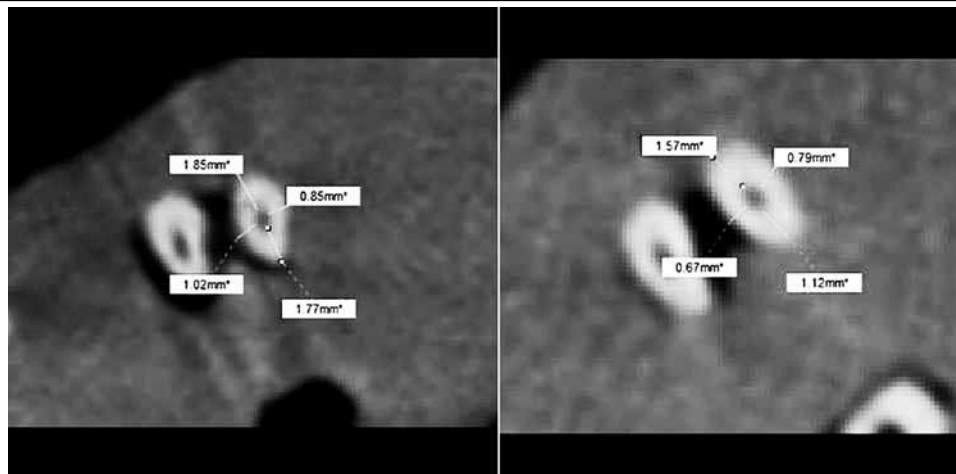


Figura 7. Mediciones de las paredes vestibulo-lingual y furca-libre de un molar pre- y posinstrumentación  
Figure 7. Measurements of a molar's buccal-lingual and furcation-free walls before and after instrumentation

El análisis de datos se hizo mediante el test estadístico de Wilcoxon para muestras pareadas obteniendo así la comparación entre las diferencias de desgastes de la pared libre versus furca y de la pared vestibular versus pared palatina/lingual en cada sistema de instrumentación. Para la comparación de la diferencia de desgaste de todas las paredes entre sí por sistema de instrumentación así como para la comparación de la transportación entre los sistemas rotatorios se utilizó el test ANOVA para medidas repetidas con un intervalo de confianza del 95%. Se consideró estadísticamente significativo un valor de  $P \leq 0,05$ .

## RESULTADOS

Los resultados del T-test para muestras dependientes hecho con el objetivo de establecer la precisión del registro intraobservador, indican que no existe diferencias significativas en la medición.

La tabla 1 muestra la presencia o ausencia de transportación para las paredes vestibular-lingual y cara libre-furca a los 4 niveles de observación (2, 4, 6, y 8 mm) en las 15 muestras instrumentadas con el sistema ProTaper Universal.

Se observa transportación del canal presente a los 2 y 6 mm siendo estadísticamente significativo ( $p < 0,05$ ) al contrastar las paredes libre y furca.

En la tabla 2 se observa la presencia o ausencia de transportación entre las paredes vestibular-lingual y cara libre-furca para el sistema de instrumentación rotatoria RaCe, evidenciándose la ausencia de transportación para todas las mediciones.

Se observa a los 6 mm de instrumentación mayor desgaste hacia la pared lingual; sin embargo, esta diferencia no es significativa.

La tabla 3 muestra la presencia o ausencia de transportación para las paredes vestibular-lingual y cara libre-furca a 2, 4, 6, y 8 mm en las 15 muestras instrumentadas con el sistema K3, donde no se observan diferencias al igual que con el sistema RaCe.

Por otra parte, se puede observar que al comparar la diferencia de desgaste de todas las paredes entre sí, por sistema de instrumentación, a través del test ANOVA el mayor desgaste no homogéneo lo produce el sistema rotatorio ProTaper Universal a los 4 mm de instrumentación y la diferencia se produce entre las paredes vestibular y furca (figura 8).

Data analysis was done by means of the Wilcoxon statistical test for paired samples, which provided the comparison of wear differences between free wall versus furcation and buccal wall versus palatal / lingual wall in each instrumentation system. Comparisons of wear differences of all the walls per instrumentation system as well as comparisons of transportation among the rotary systems were done by means of the ANOVA test for repeated measures with a 95% confidence interval. A statistically significant value of  $P \leq 0.05$  was implemented.

## RESULTS

The t-test for dependent samples was used with the intention of establishing precision of intraobserver registration; the results show no significant measurement differences.

Table 1 shows the presence or absence of transportation on the buccal-lingual and free side-furcation walls at the four levels of observation (2, 4, 6, and 8 mm) in the 15 samples instrumented with the ProTaper Universal system.

Canal transportation is observed at 2 and 6 mm, being statistically significant ( $p < 0.05$ ) when comparing free and furcation walls.

Table 2 shows the presence or absence of transportation between the buccal-lingual and the free side-furcation walls for the RaCe rotary instrumentation system; no transportation is observed among the measurements.

Notice that when instrumentation reaches 6 mm, greater wear towards the lingual wall occurs, but this difference is not significant.

Table 3 shows the presence or absence of transportation on the buccal-lingual and the free side-furcation walls at 2, 4, 6, and 8 mm in the 15 samples instrumented with the K3 system; as with the RaCe system, no differences are observed in this case.

Note that in comparing wear differences among all the walls together, per instrumentation system and using the ANOVA test, the greatest inhomogeneous wear occurs with the ProTaper Universal rotary system at 4 mm of instrumentation, and the difference occurs between the buccal and furcation walls (figure 8).

Tabla 1. *Transportación del conducto al comparar pared vestibular versus lingual y cara libre versus furca utilizando el sistema de instrumentación ProTaper Universal*

|      | Pared vestibular<br>(mm ± DE; n = 15) | Pared lingual<br>(mm ± DE; n = 15) | Pared libre<br>(mm ± DE; n = 15) | Pared furca<br>(mm ± DE; n = 15) |
|------|---------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 2 mm | 0,3167 ± 0,2217                       | 0,4100 ± 0,3656                    | 0,3353 ± 0,1989                  | 0,2147 ± 0,2446*                 |
| 4 mm | 0,5473 ± 0,3682                       | 0,3287 ± 0,4021                    | 0,2940 ± 0,2448                  | 0,2453 ± 0,1921                  |
| 6 mm | 0,3373 ± 0,3102                       | 0,3387 ± 0,4264                    | 0,2327 ± 0,1989                  | 0,5613 ± 0,3318**                |
| 8 mm | 0,4093 ± 0,4038                       | 0,4427 ± 0,3970                    | 0,3893 ± 0,2308                  | 0,3607 ± 0,2774                  |

\* p < 0,05; \*\* p < 0,01.

Table 1. *Canal transportation in comparing the buccal - lingual and the free side - furcation walls, using the ProTaper Universal instrumentation system*

|      | Buccal wall<br>(mm ± SD; n = 15) | Lingual wall<br>(mm ± SD; n = 15) | Free wall<br>(mm ± SD; n = 15) | Furcation wall<br>(mm ± SD; n = 15) |
|------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| 2 mm | 0.3167 ± 0.2217                  | 0.4100 ± 0.3656                   | 0.3353 ± 0.1989                | 0.2147 ± 0.2446*                    |
| 4 mm | 0.5473 ± 0.3682                  | 0.3287 ± 0.4021                   | 0.2940 ± 0.2448                | 0.2453 ± 0.1921                     |
| 6 mm | 0.3373 ± 0.3102                  | 0.3387 ± 0.4264                   | 0.2327 ± 0.1989                | 0.5613 ± 0.3318**                   |
| 8 mm | 0.4093 ± 0.4038                  | 0.4427 ± 0.3970                   | 0.3893 ± 0.2308                | 0.3607 ± 0.2774                     |

\* p < 0,05; \*\* p < 0,01.

Tabla 2. *Transportación del conducto al comparar pared vestibular versus lingual y cara libre versus furca utilizando el sistema de instrumentación RaCe*

|      | Pared vestibular<br>(mm ± DE; n = 15) | Pared lingual<br>(mm ± DE; n = 15) | Pared libre<br>(mm ± DE; n = 15) | Pared furca<br>(mm ± DE; n = 15) |
|------|---------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 2 mm | 0,1773 ± 0,2049                       | 0,2140 ± 0,2025                    | 0,1967 ± 0,1654                  | 0,1413 ± 0,1421                  |
| 4 mm | 0,2620 ± 0,2209                       | 0,3487 ± 0,3239                    | 0,1953 ± 0,1912                  | 0,2060 ± 0,1854                  |
| 6 mm | 0,2027 ± 0,1579                       | 0,5173 ± 0,6085                    | 0,2013 ± 0,1516                  | 0,2420 ± 0,1300                  |
| 8 mm | 0,2960 ± 0,3444                       | 0,3227 ± 0,3768                    | 0,2207 ± 0,1852                  | 0,3373 ± 0,3592                  |

Table 2. *Canal transportation in comparing the buccal - lingual and the free side-furcation walls, using the RaCe instrumentation system*

|      | Buccal wall<br>(mm ± SD; n = 15) | Lingual wall<br>(mm ± SD; n = 15) | Free wall<br>(mm ± SD; n = 15) | Furcation wall<br>(mm ± SD; n = 15) |
|------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| 2 mm | 0.1773 ± 0.2049                  | 0.2140 ± 0.2025                   | 0.1967 ± 0.1654                | 0.1413 ± 0.1421                     |
| 4 mm | 0.2620 ± 0.2209                  | 0.3487 ± 0.3239                   | 0.1953 ± 0.1912                | 0.2060 ± 0.1854                     |
| 6 mm | 0.2027 ± 0.1579                  | 0.5173 ± 0.6085                   | 0.2013 ± 0.1516                | 0.2420 ± 0.1300                     |
| 8 mm | 0.2960 ± 0.3444                  | 0.3227 ± 0.3768                   | 0.2207 ± 0.1852                | 0.3373 ± 0.3592                     |

Tabla 3. *Transportación del conducto al comparar pared vestibular versus lingual y cara libre versus furca utilizando el sistema de instrumentación K3*

|      | Pared vestibular<br>(mm ± DE; n = 15) | Pared lingual<br>(mm ± DE; n = 15) | Pared libre<br>(mm ± DE; n = 15) | Pared furca<br>(mm ± DE; n = 15) |
|------|---------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 2 mm | 0,09133 ± 0,1124                      | 0,07333 ± 0,09737                  | 0,1167 ± 0,1509                  | 0,08933 ± 0,1323                 |
| 4 mm | 0,05467 ± 0,1162                      | 0,1653 ± 0,2862                    | 0,0940 ± 0,1275                  | 0,1660 ± 0,2400                  |
| 6 mm | 0,07133 ± 0,1088                      | 0,1433 ± 0,2059                    | 0,1680 ± 0,1189                  | 0,2140 ± 0,1966                  |
| 8 mm | 0,2093 ± 0,3016                       | 0,2087 ± 0,2033                    | 0,2280 ± 0,2139                  | 0,3347 ± 0,2170                  |

Table 3. *Canal transportation in comparing the buccal - lingual and the free side - furcation walls, using the K3 instrumentation system*

| Buccal wall<br>(mm ± SD; n = 15) | Lingual wall<br>(mm ± SD; n = 15) | Free wall<br>(mm ± SD; n = 15) | Furcation wall<br>(mm ± SD; n = 15) |
|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| 0.09133 ± 0.1124                 | 0.07333 ± 0.09737                 | 0.1167 ± 0.1509                | 0.08933 ± 0.1323                    |
| 0.05467 ± 0.1162                 | 0.1653 ± 0.2862                   | 0.0940 ± 0.1275                | 0.1660 ± 0.2400                     |
| 0.07133 ± 0.1088                 | 0.1433 ± 0.2059                   | 0.1680 ± 0.1189                | 0.2140 ± 0.1966                     |
| 0.2093 ± 0.3016                  | 0.2087 ± 0.2033                   | 0.2280 ± 0.2139                | 0.3347 ± 0.2170                     |

Se puede ver además que el sistema ProTaper Universal a los 8 mm de instrumentación muestra distribución homogénea de desgaste (figura 9) aunque se evidencia gran cantidad de desgaste.

Es interesante destacar que el sistema K3 a los 2, 4, y 6 mm del conducto produjo desgaste conservador y homogéneo de las paredes (figura 10), no así el sistema RaCe que mostró la tendencia a desgastar más la pared lingual a los 4 y 6 mm, pero sin diferencias significativas (figura 11).

Finalmente, al contrastar las diferencias de desgaste de todos los sistemas rotatorios a los distintos niveles de medición utilizando el índice de Gambill,<sup>32</sup> se puede observar que ProTaper Universal produce desgaste significativamente mayor que los sistemas RaCe y K3 a los 6 mm en sentido cara libre-furca (figura 12), y el desgaste no proporcional se produce hacia la cara furca de los molares (tabla 4). En sentido vestibulo-palatino no se observaron diferencias significativas (tabla 5).

It can also be seen that at 8 mm of instrumentation the ProTaper Universal system shows homogeneous wear distribution (figure 9), although abundant wearing is observed.

Interestingly, at 2, 4 and 6 mm the K3 system produced conservative and homogeneous wall wear (figure 10), unlike the RaCe system, which showed a special tendency to wear out the lingual wall at 4 and 6 mm, but with no significant differences (figure 11).

Finally, in comparing wear differences of all the rotary systems at several measurement levels by means of the Gambill index,<sup>32</sup> one may observe that the ProTaper Universal system produces significantly higher wearing than the RaCe and K3 systems at 6 mm in the free side-furcation direction (figure 12) and that the uneven wearing occurs by the furcation wall side of molars (table 4). No significant differences may be observed in the buccal-palatal direction (table 5).

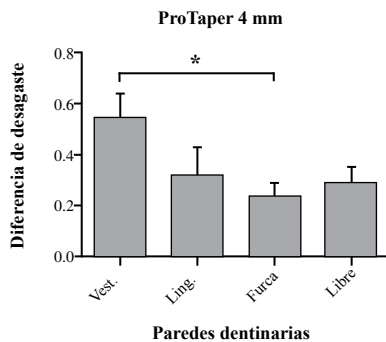


Figura 8. Transportación del canal a los 4 mm comparando todas las paredes entre sí con el sistema de instrumentación ProTaper Universal

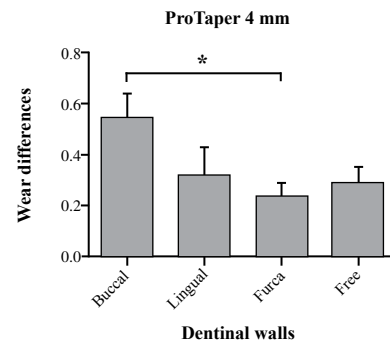


Figure 8. Canal transportation at 4 mm in comparing all the walls together with the ProTaper Universal instrumentation system

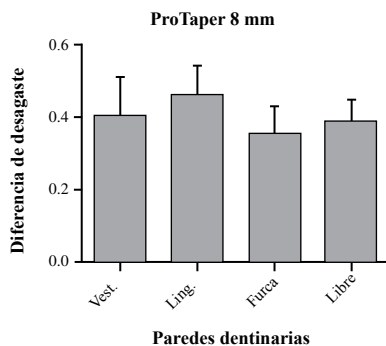


Figura 9. Grado de desgaste de las 4 paredes del conducto a 8 mm con sistema ProTaper

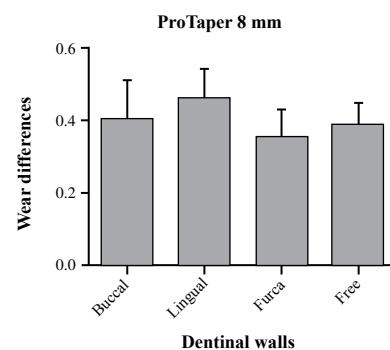


Figure 9. Wear degrees of the 4 canal walls at 8 mm with the ProTaper Universal system

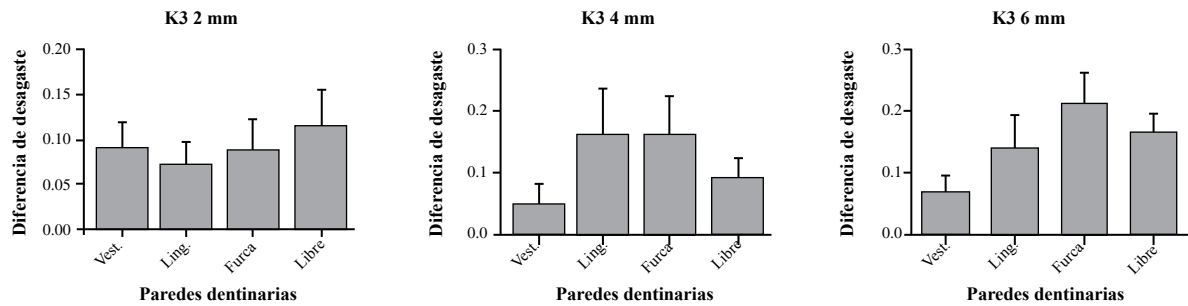


Figura 10. Desgaste de las paredes a los 2, 4, y 6 mm con el sistema K3

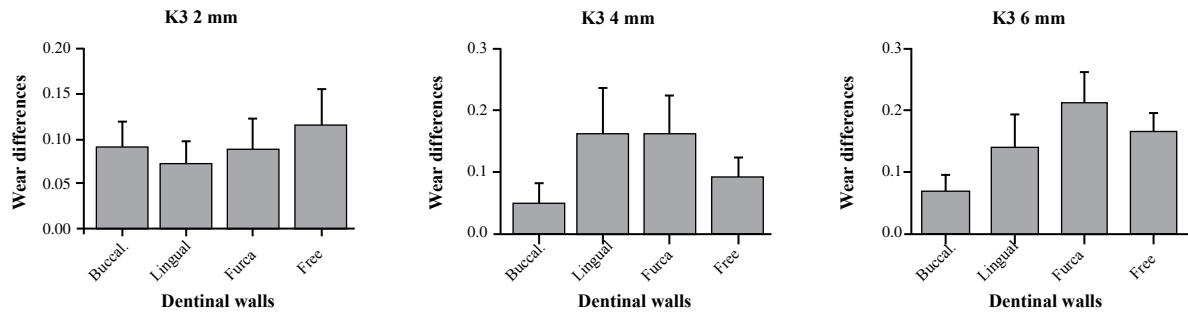


Figure 10. Wall wear at 2, 4, and 6 mm with the K3 system

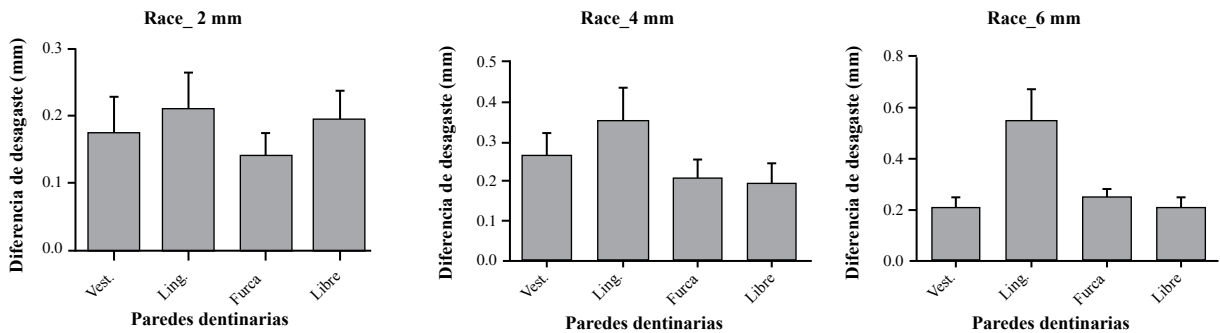


Figura 11. Desgaste de las paredes a los 2, 4, y 6 mm con el sistema RaCe

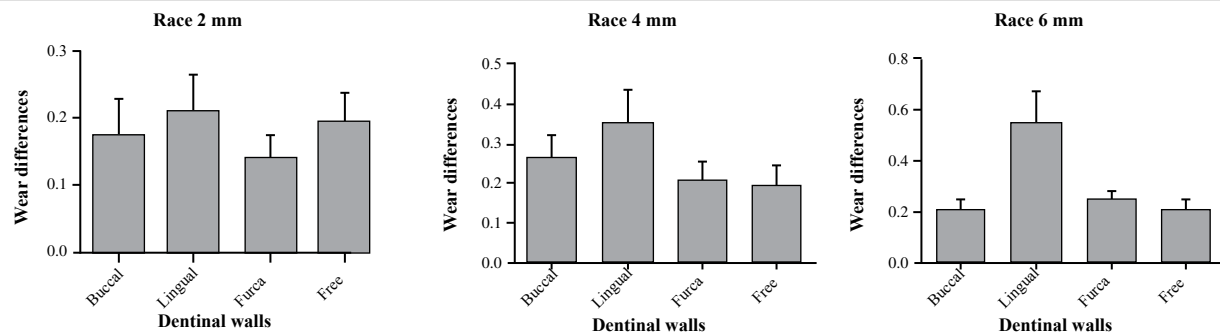


Figure 11. Wall wear at 2, 4, and 6 mm with the RaCe system

Tabla 4. *Transportación del conducto al comparar las diferencias de desgaste de los sistemas de instrumentación a los distintos niveles de medición en sentido cara libre-furca*

|      | ProTaper (mm $\pm$ DE; n = 15) | RaCe (mm $\pm$ DE; n = 15) | K3 (mm $\pm$ DE; n = 15) |
|------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 2 mm | 0,1207 $\pm$ 0,2263            | 0,0540 $\pm$ 0,2352        | 0,02667 $\pm$ 0,2297     |
| 4 mm | 0,04933 $\pm$ 0,3089           | -0,01067 $\pm$ 0,2374      | -0,0720 $\pm$ 0,2618     |
| 6 mm | -0,2980 $\pm$ 0,3282*          | -0,0540 $\pm$ 0,2514       | -0,0580 $\pm$ 0,2264     |
| 8 mm | -0,05133 $\pm$ 0,3747          | -0,1167 $\pm$ 0,3860       | -0,1067 $\pm$ 0,3556     |

\* p < 0,5. ProTaper versus RaCe y ProTaper versus K3.

Table 4. *Canal transportation in comparing differences in wear produced by the instrumentation systems at the various measurements in the free side-furcation direction*

|      | ProTaper (mm $\pm$ SD; n = 15) | RaCe (mm $\pm$ SD; n = 15) | K3 (mm $\pm$ SD; n = 15) |
|------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 2 mm | 0.1207 $\pm$ 0.2263            | 0.0540 $\pm$ 0.2352        | 0.02667 $\pm$ 0.2297     |
| 4 mm | 0.04933 $\pm$ 0.3089           | -0.01067 $\pm$ 0.2374      | -0.0720 $\pm$ 0.2618     |
| 6 mm | -0.2980 $\pm$ 0.3282*          | -0.0540 $\pm$ 0.2514       | -0.0580 $\pm$ 0.2264     |
| 8 mm | -0.05133 $\pm$ 0.3747          | -0.1167 $\pm$ 0.3860       | -0.1067 $\pm$ 0.3556     |

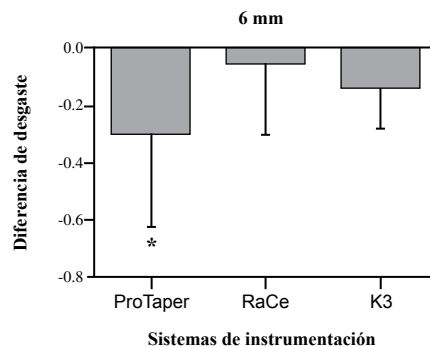
\* p < 0,5. ProTaper versus RaCe and ProTaper versus K3.

Tabla 5. *Transportación del conducto al comparar las diferencias de desgaste de los sistemas de instrumentación a los distintos niveles de medición en sentido vestibulo-palatino (vestibular-palatino)*

|      | ProTaper (mm $\pm$ DE; n = 15) | RaCe (mm $\pm$ DE; n = 15) | K3 (mm $\pm$ DE; n = 15) |
|------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 2 mm | -0,09333 $\pm$ 0,3783          | -0,03667 $\pm$ 0,2565      | 0,0180 $\pm$ 0,08011     |
| 4 mm | 0,2013 $\pm$ 0,4426            | -0,08667 $\pm$ 0,4060      | -0,1107 $\pm$ 0,3291     |
| 6 mm | -0,05333 $\pm$ 0,4620          | -0,3147 $\pm$ 0,6852       | -0,06533 $\pm$ 0,2042    |
| 8 mm | -0,03733 $\pm$ 0,6318          | -0,02667 $\pm$ 0,5144      | -0,006667 $\pm$ 0,3330   |

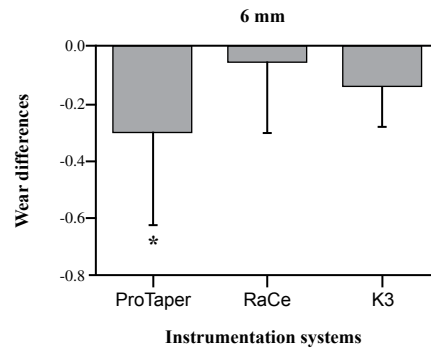
Table 5. *Canal transportation in comparing differences in wear produced by the instrumentation systems at the various measurements in the buccal-palatal direction*

|      | ProTaper (mm $\pm$ SD; n = 15) | RaCe (mm $\pm$ SD; n = 15) | K3 (mm $\pm$ SD; n = 15) |
|------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 2 mm | -0.09333 $\pm$ 0.3783          | -0.03667 $\pm$ 0.2565      | -0.0180 $\pm$ 0.08011    |
| 4 mm | 0.2013 $\pm$ 0.4426            | -0.08667 $\pm$ 0.4060      | -0.1107 $\pm$ 0.3291     |
| 6 mm | -0.05333 $\pm$ 0.4620          | -0.3147 $\pm$ 0.6852       | -0.06533 $\pm$ 0.2042    |
| 8 mm | -0.03733 $\pm$ 0.6318          | -0.02667 $\pm$ 0.5144      | -0.006667 $\pm$ 0.3330   |



\* p < 0,05.

Figura 12. *Diferencia de desgaste comparando los tres sistemas a 6 mm de medición*



\*  $p < 0,05$ .

Figure 12. Wall wear in comparing the three systems at 6 mm

## DISCUSIÓN

Se encontraron diferencias significativas entre las paredes libre y furca (tabla 2) a los 2 mm y 6 mm del canal radicular medido desde ápice hasta coronal para el sistema ProTaper Universal, representando desplazamiento del conducto hacia la cara libre a los 6 mm y hacia la furca de los molares a los 2 mm; estos resultados son semejantes a los encontrados por Alcota y colaboradores en el estudio publicado en 2011, donde observaron que el sistema rotatorio ProTaper Universal produjo mayor desgaste a los 6 mm de instrumentación en la pared cóncava de la curvatura radicular.<sup>16</sup>

Este comportamiento se puede explicar por la presencia de mayor rigidez de estos instrumentos y además de presentar taper variable, lo cual hace difícil el manejo selectivo de los instrumentos según las características anatómicas de los conductos radiculares. Se ha demostrado que las transportaciones encontradas fueron producidas por el instrumento F3, por lo que su uso debe ser moderado al momento de la preparación de conductos curvos.<sup>15, 17</sup> Lo anterior también puede explicar la fractura del instrumento F3 en dos oportunidades a lo largo de la etapa experimental del estudio, este hecho también se produjo durante la instrumentación hecha por otros operadores que han publicado estudios sobre este sistema rotatorio.<sup>18, 19</sup>

Los resultados anteriormente expuestos coinciden con el estudio de Bergmans y colaboradores de 2003 que muestran mayor desgaste por parte del sistema ProTaper, en especial a nivel del tercio coronal,<sup>20</sup> del mismo modo en el estudio de Yang y colaboradores, los resultados indican mayor desgaste del sistema ProTaper a nivel del tercio medio y coronal del canal radicular en comparación con otro sistema.<sup>21</sup>

## DISCUSSION

With the ProTaper Universal system, significant differences were found between the free and furcation walls (table 2) at 2 and 6 mm of the root canal measured from apex to crown; this is an indication of root canal transportation towards the free side at 6 mm and towards the furcation side of molars at 2 mm. These results are similar to the findings by Alcota et al. in their 2011 study, which showed that ProTaper produced more wear at 6 mm of instrumentation in the concave wall of the root curvature.<sup>16</sup>

This behavior may be explained by the greater rigidity of these instruments coupled with their variable taper, preventing the selective handling of instruments according to the anatomical features of root canals. It has been shown that transportation may be produced by the F3 instrument, so it should be moderately used when preparing curved canals.<sup>15, 17</sup> This may also explain the fracturing of this instrument twice during the experimental phase of this study—as also occurred during instrumentations made by other researchers who have published studies on this rotary system.<sup>18, 19</sup>

These results are consistent with the study by Bergmans et al. in 2003, which shows increased wear by the ProTaper system, especially at the coronal third;<sup>20</sup> similarly, the findings by Yang et al. show greater wear by the ProTaper system at the coronal and middle thirds of the root canal, in comparison to another system.<sup>21</sup>

Por esto, diferentes estudios sugieren el uso de ProTaper en combinación con sistemas más flexibles, como RaCe o K3, en la preparación de conductos curvos, ya que el uso de ProTaper Universal por sí solo produce transportación del tercio medio del canal radicular.<sup>9, 19</sup> Así también se recomienda disminuir la conicidad de los instrumentos. Por ejemplo, un instrumento N.º 30 de conicidad al 2% es más flexible que un instrumento N.º 30 con conicidad al 4 o 6%, así, para poder hacer el ensanchamiento apical es necesario utilizar instrumentos con conicidad al 2%.<sup>21, 22</sup>

En contraste con lo anterior, existen estudios que demuestran que ProTaper mantiene la curvatura original de canales radiculares en comparación con otros sistemas rotatorios, entre ellos K3 y RaCe, sin mostrar diferencias significativas<sup>23</sup> y también que es un instrumento seguro de utilizar.<sup>17</sup> Sin embargo, promueve mayor desgaste de dentina a nivel del tercio coronal del canal, aunque manteniendo la regularidad del diámetro del conducto a nivel de los tres tercios del canal radicular.<sup>24</sup> Así mismo, Ozgur-Uyanik y colaboradores, publicaron un estudio que demostró que ProTaper removió significativamente más dentina que el sistema Hero Shaper y RaCe, sin embargo, RaCe mostró transportación estadísticamente significativa del conducto a nivel del tercio coronal.<sup>25</sup>

Al-Suldani y colaboradores (2006) publicaron un estudio donde comparaban tres sistemas de instrumentación; ProFile, K3 y RaCe, en el cual se evaluó la capacidad de mantener la posición original del conducto y transportación del canal. Como conclusión, se determinó que los tres sistemas preservan la estructura dentinaria pero RaCe mostró significativamente mayor transportación.<sup>11</sup> Esto último puede coincidir con los resultados mostrados por RaCe en nuestro estudio donde se observó la tendencia a la transportación de la pared lingual de los conductos a los 6 mm de instrumentación, sin ser esta diferencia significativa. Sin embargo, al comparar RaCe y ProTaper en el estudio de Al-Suldani encontramos que los conductos preparados con RaCe conservan y mantienen mejor la centricidad y curvatura original del canal; y aunque al utilizar RaCe a diámetros mayores de los usuales la transportación es mínima se sigue manteniendo la centricidad adecuada del canal en contraste con ProTaper Universal que tiende a transportar el conducto hacia la zona externa de la curvatura.<sup>14, 18</sup>

Therefore, several studies recommend using ProTaper in combination with more flexible systems such as RaCe or K3 when preparing curved canals, since Universal ProTaper alone produces transportation of the root canal's middle third.<sup>9, 19</sup> A reduction in instrument taper is also recommendable. For example, a No. 30 instrument with 2% taper is more flexible than a No. 30 instrument with 4 or 6% taper, so in order to perform apical enlargement it is necessary to use 2% tapered instruments.<sup>21, 22</sup>

Conversely, some other studies show that ProTaper maintains the original curvature of root canals in comparison with other rotary systems, including RaCe and K3, with no significant differences,<sup>23</sup> and other studies state that ProTaper is safe to use.<sup>17</sup> However, it produces greater dentinal wear at the coronal third of the canal, while maintaining diameter regularity of the canal at its three thirds.<sup>24</sup> Similarly, Ozgur-Uyanik et al. demonstrated that ProTaper significantly removed more dentin than the Hero Shaper and RaCe systems, but RaCe showed statistically significant transportation of the canal at the coronal third.<sup>25</sup>

Al-Suldani et al. published a study comparing three instrumentation systems: ProFile, K3 and RaCe, and assessed the ability of maintaining the original position of the canal, and canal transportation. They concluded that the three systems preserve the dentinal structure but RaCe showed significantly higher transportation levels.<sup>11</sup> These findings agree with the results yielded by RaCe in our study as this system showed a tendency to transport the lingual wall of the canals at 6 mm of instrumentation, but this difference was not significant. However, when comparing RaCe and ProTaper, Al-Suldani found out that canals prepared with RaCe better conserve and maintain the original concentricity and curvature of canals, and although using RaCe with larger diameters than usual produces minimal transportation, proper canal concentricity is still preserved in comparison with ProTaper Universal, which tends to transport the canal to the outer area of the curvature.<sup>14, 18</sup>

Según nuestros resultados, K3 mostró ser el más conservador en la remoción de dentina de los canales radiculares, sin producir transportación del conducto; al igual que en un estudio del 2008 publicado por López y colaboradores, donde se determinó que K3 otorga seguridad en la preparación apical del canal, con una pequeña desviación, pero sin producir transportación significativa del conducto.<sup>26</sup> Esto se contrasta con los resultados obtenidos por Miramontes y colaboradores, donde K3 mostró desgaste significativamente mayor que el producido por el sistema ProTaper a nivel del tercio medio, pero a nivel del tercio apical el sistema K3 mostró ser más seguro que ProTaper al no modificar el ángulo de la curvatura de las raíces; ambos sistemas no mostraron diferencias significativas en la transportación final del conducto.<sup>12</sup> Se han hecho otros estudios donde K3 muestra mayor desgaste de las paredes del canal radicular, al compararlo con el sistema ProFile en canales curvos simulados en bloques de resina con 20 y 30° de curvatura. Estos establecieron que K3 a los 20° remueve significativamente más material de la pared externa del canal en la zona apical que ProFile, y que a los 20° K3 remueve más material de la pared externa e interna que ProFile.<sup>27</sup> En este mismo estudio al compararlo con el sistema Mtwo se determinó que para curvaturas mayores o iguales a 20° la transportación del comienzo de la curvatura fue significativamente mayor con K3.<sup>28</sup>

Del test ANOVA rescatamos la existencia de desgaste significativamente mayor en la pared vestibular de los canales radiculares instrumentados con el sistema ProTaper Universal a nivel del tercio medio del canal, específicamente a los 4 mm de medición (figura 9), confirmando que es el instrumento el que provoca transportación de los canales radiculares.

Por otra parte, al observar los resultados del último análisis estadístico, podemos destacar que cuando se contrastan los tres sistemas rotatorios entre sí a los distintos niveles de medición, solo encontramos una diferencia de desgaste significativa a los 6 mm, donde el instrumento ProTaper Universal produce el mayor desgaste en sentido furca-libre, específicamente en la cara furca de las raíces. Esto se puede comparar con el estudio de Yoshimine y colaboradores, publicado en 2005, en el cual se analizaron los tres sistemas de instrumentación utilizando bloques de resina en vez de molares humanos.

Our results showed that K3 is more conservative in removing dentin from root canals with no canal transportation; likewise, a study published by López et al., in 2008 demonstrated that K3 offers security in the apical preparation of the canal, producing a slight deviation but no significant canal transportation.<sup>26</sup> This disagrees with the results by Miramontes et al., where K3 showed significantly greater wear than that produced by ProTaper at the middle third, but at the apical third K3 proved to be safer than ProTaper by not modifying the root curvature angle; both systems showed no significant differences in terms of final canal transportation.<sup>12</sup> Other studies have been conducted with K3 showing greater root canal wall wear in comparison to ProFile in simulated curved canals with resin blocks of 20 and 30 degrees in curvature. Such studies established that at 20° K3 significantly removes more material from the outer wall of the canal in the apical area than ProFile, and that at 20° K3 removes more material from both the outer and the inner walls than ProFile.<sup>27</sup> And when comparing with the Mtwo system, the same study concluded that in curvatures greater than or equal to 20° the transportation at the beginning of the curvature was significantly greater with K3.<sup>28</sup>

The ANOVA test allowed us to identify the existence of significantly higher wear in the vestibular wall of the root canals instrumented with the Universal ProTaper system at the canal's middle third, specifically at 4 mm of measurement (figure 9), suggesting that this instrument causes root canal transportation.

Moreover, considering the results of the last statistical analysis, we note that when the three rotary systems are compared at different levels of measurement, a significant difference in wear occurs only at 6 mm, where ProTaper Universal produces the most wear in the furcation-free side direction, specifically in the furcation side of roots. This compares with the study by Yoshimine et al., published in 2005, which analyzed these three instrumentation systems by using resin blocks instead of human molars.

Sus resultados fueron similares a los del presente trabajo, en donde ProTaper produjo desgaste de dentina mayor que los sistemas RaCe y K3. Además, ProTaper mostró tendencia a formar un escalón al final de la preparación del canal que parece ser producido por las limas F del sistema ProTaper, que parecen ser menos flexibles que otras limas del mismo diámetro apical, debido a su gran taper (taper progresivo). Los resultados de la publicación de Yoshimine sugieren la utilización de los sistemas con menor taper y más flexibles como RaCe y K3 en la preparación apical de los canales radiculares con curvaturas severas.<sup>10</sup>

Finalmente, la evaluación de la transportación de la región apical y media del canal radicular después de la preparación quimiomecánica puede ser hecha con diferentes metodologías, por ejemplo, plataformas radiográficas superponiendo imágenes pre- y posinstrumentación, sistema de muflas y tomografías computarizadas, siendo esta última una de las más utilizadas en la actualidad en este tipo de imágenes ya que ha demostrado ser un buen método en la medición de la transportación.<sup>15, 25, 29, 30</sup> Özer usó CBCT para medir la transportación radicular entre ProTaper Universal, Hero 642 y Flexmaster no encontró diferencias significativas entre estos sistemas.<sup>29</sup> El mismo resultado obtuvo Oliveira y colaboradores al comparar diferentes sistemas de instrumentación rotatoria con movimiento recíproco, entre ellos RaCe y K3.<sup>13</sup> Özgür y colaboradores compararon el grado de remoción dentinaria y transportación a través de tomografía computarizada de los sistemas ProTaper Universal, RaCe y Hero Shaper encontraron que el sistema ProTaper removió significativamente más dentina y que RaCe transportó a nivel coronario.<sup>25</sup>

A pesar de que el uso de tecnología Cone beam está ampliamente avalada, en este trabajo con la utilización de este método surgieron inconvenientes en la técnica que pueden haber afectado el resultado de la investigación. La resolución de la imagen para hacer la medición de las paredes de los conductos hace que esta se vuelva subjetiva, debido a que no existe límite definido en la imagen que nos permita reconocer el borde del conducto, tanto interno como externo, sino que se muestra una imagen pixelada que puede inducir errores al momento de las mediciones de pre- y posinstrumentación. A pesar de esta limitación nuestros resultados son coherentes con los encontrados en una investigación similar pero utilizando otro análisis imagenológico,<sup>16</sup> así como lo encontrado en investigaciones del postítulo de endodoncia 2011,<sup>31</sup> lo que da consistencia a lo obtenido en este estudio.

Their results were similar to those of the present study, in which ProTaper produced more dentin wear than RaCe and K3. Also, ProTaper showed a tendency to form ledges at the end of the canal preparation, apparently produced by the ProTaper F files which seem to be less flexible than other files of the same apical diameter, due to their large taper (progressive taper). The results by Yoshimine suggest using systems with less taper and more flexibility such as RaCe and K3 in the apical preparation of root canals with severe curvatures.<sup>10</sup>

Finally, the evaluation of the root canal's apical and middle areas transportation after chemomechanical preparation may be done by using different methodologies, such as overlaying pre- and post-instrumentation radiographic images or using a system of muffs and computed scans, the latter being one of the most commonly used nowadays in this type of studies since it has proved to be a good method for measuring transportation.<sup>15, 25, 29, 30</sup> Özer used cone beam computed tomography to assess root transportation among ProTaper Universal, Hero 642, and Flexmaster and did not find significant differences between these systems.<sup>29</sup> The same result was obtained by Oliveira et al. in comparing different rotary instrumentation systems with reciprocal movement, including RaCe and K3.<sup>13</sup> Özgür et al. compared the degree of dentin removal and transportation of ProTaper Universal, RaCe and Hero Shaper systems by means of computed tomography, and found out that ProTaper significantly removed more dentin and that RaCe produced transportation at the coronal level.<sup>25</sup>

Although the use of cone beam technology is widely suggested, this technique produced several inconveniences during the present study, possibly affecting the results. Image resolution during canal wall measurement makes this a subjective matter, because the absence of defined limits on the images impedes identifying internal and external canal edges, but instead it shows a low-resolution image that may cause errors when making pre- and post-instrumentation measurements. Despite this limitation, our results are consistent with those of similar studies using different imaging analysis,<sup>16</sup> as well as with the findings of the endodontics postgraduate research in 2011,<sup>31</sup> which support the findings of this study.

## CONCLUSIONES

1. Al comparar intrasistemas a los distintos niveles, ProTaper Universal produce transportación significativamente mayor del conducto a nivel del tercio medio, específicamente a los 2 y 4 mm medidos desde apical hacia coronal en las paredes libre y furca.
2. Cuando se comparan los tres sistemas de instrumentación entre ellos, ProTaper Universal produce transportación del conducto a los 4 mm significativamente mayor que RaCe y K3.
3. Los sistemas RaCe y K3 no producen transportación del sistema de conductos radiculares, no mostrando diferencias significativas entre sí.
4. El sistema RaCe mostró mayor tendencia a desgastar la pared lingual del conducto radicular a los 6 mm, sin embargo, esta diferencia no es significativa.
5. El sistema K3 fue el que mostró menor transportación del tercio medio y apical del canal radicular y produciendo desgaste conservador de las paredes, siendo el sistema que mejor se comporta desde el punto de vista de la mantención de la geometría del canal radicular.

## CORRESPONDENCIA

Marcela Alcota Rojas  
Sergio Livingstone P. 943 Independencia  
Santiago, Chile  
Teléfono: 56-02-9781839  
Correo electrónico: malcota@u.uchile.cl

Carmen Lucía Guzmán Zuluaga  
Av. Kennedy 7120 of. 107. Vitacura  
Santiago, Chile  
Teléfono: 09-92321188  
Fax: 371 62 73  
Correo electrónico: carmenguzu@gmail.com

## CONCLUSIONS

1. An internal comparison of the systems at different levels reveals that ProTaper Universal produces significantly greater canal transportation at the middle third, specifically at 2 and 4 mm measured from apical to coronal in the free side and furcation walls.
2. When comparing all the three instrumentation systems, ProTaper Universal produces canal transportation at 4 mm in a significantly greater manner than RaCe and K3.
3. The RaCe and K3 systems do not produce canal transportation, with no significant differences among them.
4. The RaCe system showed a greater tendency to wear the lingual wall of the root canal at 6 mm; however, this difference is not significant.
5. K3 was the system with the lowest transportation of the middle and apical third of the root canal, producing conservative wall wear; it is therefore the system with the best behavior in terms of maintaining root canal geometry.

## CORRESPONDING AUTHOR

Marcela Alcota Rojas  
Sergio Livingstone P. 943 Independencia  
Santiago, Chile  
Telephone number: 56-02-9781839  
Email address: malcota@u.uchile.cl

Carmen Lucía Guzmán Zuluaga  
Av. Kennedy 7120 of. 107. Vitacura  
Santiago, Chile  
Telephone number: 09-92321188  
Fax number: 371 62 73  
Email address: carmenguzu@gmail.com

## REFERENCIAS / REFERENCES

1. Soares IJ, Goldberg F. Endodoncia. Técnica y fundamentos. Madrid: Médica Panamericana, 2002.
2. Reeh ES, Messer HH, Douglas WH. Reduction in tooth stiffness as a result of endodontic and restorative procedures. J Endod 1989; 15: 512-516.
3. Lang H, Korkmaz Y, Schneider K, Raab WH. Impact of endodontic treatments on the rigidity of the root. J Dent Res 2006; 85(4): 364-368.
4. Golberg F, Araujo JA. Comparison of three instruments in the preparation of curved root Canals. Endod Dent Traumatol 1997; 13(6): 265-268.

5. Walton R, Torabinejad M. Endodoncia, Principios y Práctica. México: McGraw-Hill Interamericana, 1997.
6. Samyn JA, Nicholls JI, Steiner JC. Comparison of stainless steel and nickel-titanium instruments in molar root canal preparation. *J Endod* 1996; 22: 177-181.
7. Chen JL, Messer HH. A comparison of stainless steel hand rotary nickel-titanium instrumentation using a silicone impression technique. *Aust Dent J* 2002; 47(1): 12-20.
8. Schneider S. A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral Surg* 1971; 32(2): 271-275.
9. Javaheri HH, Javaheri GH. A comparison of three Ni-Ti rotary instruments in apical retransportation. *J Endod* 2007; 33(3): 284-286.
10. Yoshimine Y, Ono M, Akamine A. The shaping effects of three nickel titanium rotary instruments in simulated s-shaped canals. *J Endod* 2005; 31(5): 373-375.
11. Al-Sudani D, Al-Shahrani S. A comparison of the canal centering ability of Profile, K3 and RaCe nickel-titanium rotary systems. *J Endod* 2006; 32(12): 1198-1201.
12. Miramontes MJ, Garrido P, Mena J, Vera C, Rodríguez N. Análisis comparativo de los diferentes sistemas de endodoncia rotatoria. *J Am Dent* 2009; 4(2): 89-95.
13. Oliveira CA, Meurer MI, Pascoalato C, Silva SR. Cone beam computed tomography analysis of the apical third of curved roots after mechanical preparation with different automated systems. *Braz Dent J* 2009; 20(5): 376-381.
14. Pasternak-Junior B, Sousa-Neto MD, Silva RG. Canal transportation and centring ability of RaCe rotary instruments. *Int Endod J* 2009; 42: 499-506.
15. Gambill JM, Alder M, Del Río CE. Comparison of nickel-titanium and stainless steel hand-file instrumentation using computed tomography. *J Endod* 1996; 22: 369-375.
16. Alcota M, Compán G, Salinas JC, Palma AM. Comparative in vitro study of root canal transportation, using three nickel-titanium rotary systems: HERO Shaper, ProTaper Universal, and RaCe. *Rev Fac Odontol Univ Antioq* 2011; 23(1): 921.
17. Ounsi HF, Salameh Z, Al-Shalan T, Ferrari M, Grandini S, Pashley DH et al. Effect of clinical use on the cyclic fatigue resistance of ProTaper nickel-titanium rotary instruments. *J Endod* 2007; 33(6): 737-741.
18. Schafer E, Vlassis M. Comparative investigation of two rotary nickel-titanium instruments: ProTaper versus RaCe. Part I. Shaping ability in simulated curved canals. *Int Endod J* 2004; 37(4): 229-238.
19. Paqué F, Musch U, Hülsmann M. Comparison of root canal preparation using RaCe and ProTaper rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J* 2005; 38(1): 8-16.
20. Bergmans L, Van Cleynenbreugel J, Beullens M, Wevers M, Van Meerbeek B, Lambrechts P. Progressive versus constant tapered shaft design using NiTi rotary instruments. *Int Endod J* 2003; 36(4): 288-295.
21. Yang GB, Zhou XD, Zheng YL, Zhang H, Shu Y, Wu HK. Shaping ability of progressive versus constant taper instruments in curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J* 2007; 40(9): 707-714.
22. Pecora J, Capelli A. Técnica mecanizada para preparación de los canales radiculares: ProTaper. Comunicación Facultad Odontología Universidad de São Paulo [documento en línea] 2004 [fecha de acceso 29 de diciembre 2011]; URL disponible en: [http://www.forp.usp.br/restauradora/rotatorios/protaper\\_plus/protaper\\_plus\\_esp.pdf](http://www.forp.usp.br/restauradora/rotatorios/protaper_plus/protaper_plus_esp.pdf)
23. West J. Progressive taper technology: rationale and clinical technique for the new ProTaper Universal System. *Dent Today* 2006; 25(12): 66-69.
24. Guelzow A, Stamm O, Martus P, Kielbassa AM. Comparative study of six rotary nickel-titanium system and hand instrumentation for root canal preparation. *Int Endod J* 2005; 38(10): 743-752.
25. Ozgur-Uyanik M, Cehreli ZC, Ozgen Mocan B, Tasman Dagli F. Comparative evaluation of three nickel-titanium instrumentation systems in human teeth using computed tomography. *J Endod* 2006; 32(7): 668-671.
26. Lopez FU, Fachin EV, Camargo Fontanella VR, Barletta FB, Sô MV, Grecca FS. Apical transportation: a comparative evaluation of three root canal instrumentation techniques with three different apical diameters. *J Endod* 2008; 34(12): 1545-1548.
27. Ayar LR, Love RM. Shaping ability of ProFile and K3 rotary Ni-Ti instruments when used in a variable tip sequence in simulated curved root canals. *Int Endod J* 2004; 37(9): 593-601.
28. Li Z, Yu JT, Shou FY, Li L, Wu HB. Comparative study on the shaping ability of canals with 2 new nickel- titanium rotary instruments. *Shanghai Kou Qiang Yi Xue* 2010; 19(1): 100-103.
29. Özer SY. Comparison of root canal transportation induced by three rotary systems with noncutting tips using computed tomography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2011; 111: 244-250.
30. Gluskin AH, Brown DC, Buchanan LS. A reconstructed computerized tomographic comparison of Ni-Ti rotary GT files versus traditional instruments in canals shaped by novice operators. *Int Endod J* 2001; 34: 476-484.
31. Anguita S, Vera R. Estudio comparativo in vitro de la transportación del canal radicular, utilizando tres sistemas rotatorios de níquel-titanio: ProTaper Universal, RaCe y K3. [Trabajo de grado especialista en Endodoncia]. Santiago: Universidad de Chile. Facultad de Odontología; 2011.