

Comparación de la respuesta biológica generada por dos sistemas de brackets, convencional y de autoligado

Comparison of the Biological Response Generated by Conventional and Self-Ligating Brackets

Liseth Yamile Wilches Buitrago

Odontóloga, joven investigadora (Centro de Investigaciones Odontológicas), estudiante de doctorado en Ciencias Biológicas, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.

Dabeiba Adriana García Robayo

Bacterióloga, magistra en Ciencias, PhD en Ciencias Biológicas, docente de maestría y doctorado en Ciencias Biológicas, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.

Lina María Quintero Tamayo

Odontóloga, especialista en Ortodoncia, docente, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.

Alfonso María de los Reyes Victoria

Odontóloga, especialista en Ortodoncia, docente, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.

María del Pilar Aranza Jiménez

Odontóloga, especialista en Ortodoncia, docente, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.

Liliana Margarita Otero Mendoza

Odontóloga, especialista en Ortodoncia, magistra en Biología con énfasis en Genética, doctora en Ciencias Biológicas, docente del Posgrado de Ortodoncia, directora del Centro de Investigaciones Odontológicas, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.

doi:10.11144/Javeriana.UO33-70.crbg

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO

Wilches LY, García DA, Quintero LM, de los Reyes AM, Aranza MP, Otero LM. Comparación de la respuesta biológica generada por dos sistemas de brackets convencional y de autoligado. Univ Odontol. 2014 Ene-Jun; 33(70): 21-29. <http://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.UO33-70.crbg>

Recibido para publicación: 11/06/2013

Aceptado para publicación: 30/01/2014

Disponible en: <http://www.javeriana.edu.co/universitasodontologicauniveritasodontologica>

RESUMEN

Antecedentes: No existe evidencia científica suficiente que respalde las ventajas del sistema de fuerzas de autoligado sobre el sistema de fuerzas convencional en ortodoncia. **Objetivo:** Comparar la expresión de OPG y RANKL en el ligamento periodontal de dientes sometidos a fuerzas ortodónticas generadas por dos sistemas de brackets de autoligado y convencional. **Métodos:** Se analizó la expresión de OPG y RANKL mediante RT-PCR en el ligamento periodontal de 40 dientes con indicación de extracción terapéutica para ortodoncia. El grupo experimental estuvo conformado por diez premolares que recibieron fuerzas con brackets de arco recto durante 15 días antes de la extracción; 20 premolares sirvieron como grupo control. Los datos fueron analizados mediante la prueba H de Kruskal-Wallis. **Resultados:** RANKL mostró un aumento estadísticamente significativo en el lado de presión de los dientes sometidos a los dos sistemas de fuerzas ortodónticas. OPG no mostró diferencias entre las zonas o entre los dos sistemas de fuerzas analizados. **Conclusiones:** No se encontraron diferencias en la expresión de RANKL y OPG en el ligamento periodontal de dientes movidos con técnica de ortodoncia de autoligado comparados con los movidos con técnica de arco recto.

PALABRAS CLAVE

osteoprotegerina; RANKL; autoligado; arco recto; respuesta biológica; fuerzas ortodónticas

ÁREAS TEMÁTICAS

ortodoncia; aparatología ortodóntica; biología del movimiento dental

ABSTRACT

Introduction: There is no scientific evidence to support the advantages of self-ligating systems over conventional systems in orthodontics. **Purpose:** To compare the OPG and RANKL expression in periodontal ligament of teeth with self-ligating orthodontic brackets and conventionally ligated brackets. **Methods:** Expression of OPG and RANKL was evaluated through RT-PCR in periodontal ligament of 40 teeth extracted due to orthodontic indication. In the experimental group ten teeth had self-ligation brackets and ten teeth had conventional brackets during 15 days before teeth extraction. 20 premolars were included in the control group. Data were analyzed with the Kruskal-Wallis test. **Results:** RANKL was significantly greater in the compression side in both orthodontic systems, self-ligating and conventional. OPG expression was not statistically significant. **Conclusions:** There are not differences in the expression of RANKL and OPG in the periodontal ligament in self-ligating orthodontic and conventionally ligated brackets.

KEYWORDS

osteoprotegerin; RANK ligand; biological markers; self-ligating; edgewise brackets; orthodontic brackets

THEMATIC FIELDS

orthodontics; orthodontic appliances; biology of dental movement

INTRODUCCIÓN

El aparato de arco de canto fue diseñado por Angle, en 1928, para producir movimientos ortodónticos (1). Después de la aparición de este sistema de fuerzas se han realizado diferentes modificaciones, entre las que se destacan la técnica de arco recto (propuesta por Andrews), que involucra las inclinaciones, las angulaciones y los torques al *bracket* para evitar hacerlas en el alambre, como se hace en arco de canto (2), y la técnica de autoligado (que evita colocar ligaduras para sujetar el alambre al *bracket*). Los *brackets* de autoligado fueron descritos por primera vez por Stolzenberg, en 1935 (3); pero su uso se ha extendido ampliamente en la última década.

La fricción producida por el sistema de fuerzas generado por los aparatos fijos en ortodoncia es proporcional a la repuesta inflamatoria de los tejidos periodontales y raíces; por esta razón, uno de los propósitos de las nuevas técnicas empleadas en ortodoncia es disminuir esta fricción. Se ha comprobado que los *brackets* de acero inoxidable de autoligado generan significativamente menos fuerza friccional estática y cinética que los *brackets* convencionales de acero inoxidable, aunque ambos han mostrado aumento de fuerzas friccionales a medida que aumenta el grosor del arco (4,5).

La disminución en la fricción y, por ende, en la magnitud de la fuerza que promueven las diversas marcas de *brackets* de autoligado no es evidente cuando se comparan las dos técnicas (autoligado y arco recto) en maloclusiones graves y en las fases finales del tratamiento (6). La única ventaja que ha podido ser documentada está representada por la disminución del tiempo de sillón por parte de los *brackets* de autoligado.

La técnica de autoligado ofrece cierto juego entre el alambre y el *bracket*, el cual podría ejercer sobre el diente y el ligamento periodontal tiempos equiparables a la aplicación de fuerzas ortodónticas intermitentes. Mavreas (7) considera que la utilización de *brackets* de autoligado, unida a alambres de última generación, es capaz de ejercer una fuerza menor que la generada por un sistema de fuerzas convencional, lo que evitaría la aparición de zonas de hialinización y reabsorción indirecta.

La duración de la aplicación de la fuerza es también un factor importante en la optimización de los tratamientos ortodónticos y en los hallazgos histo-

morfométricos radiculares. Krishnan y Davidovitch (8) sugieren que la aplicación de fuerzas intermitentes es más adecuada para los movimientos dentales ortodónticos, ya que ofrece un periodo de descanso que permite reconstruir el ligamento periodontal. Diversos trabajos comparan la efectividad de los *brackets* estándar con los *brackets* de autoligado, pero la mayoría de estos estudios no han podido comprobar que los *brackets* de autoligado tengan ventajas biomecánicas significativas sobre los *brackets* convencionales (arco de canto y arco recto).

El movimiento dental ortodóntico es el producto de la transmisión de la fuerza mecánica aplicada sobre el diente a los tejidos periodontales y al hueso alveolar (9). El primer tejido que responde a esta fuerza es el ligamento periodontal. El ligamento periodontal es un tejido conectivo único en el organismo, no solo por estar entre dos tejidos duros (diente y hueso), sino porque sus fibras están continuamente remodelándose como respuesta al estrés de las fuerzas masticatorias y oclusales (10). La respuesta de las células del ligamento periodontal a la aplicación de fuerzas externas sobre el diente puede ser observada después de la primera hora de haberse iniciado el estímulo mecánico; sin embargo, la cascada de eventos moleculares que ocurren luego de este estímulo mecánico aún se desconoce (11).

La respuesta biológica de los tejidos cambia según las características de la fuerza (intensidad, magnitud y duración). La diferenciación y la actividad celular de los osteoblastos y de los osteoclastos que aparecen después de la aplicación de una fuerza ortodóntica son reguladas por una amplia variedad de hormonas osteotrópicas, por mediadores de la inflamación, por factores de crecimiento, por proteínas de matriz extracelular y por los fibroblastos del ligamento periodontal (12). Estas moléculas son expresadas de forma heterogénea en los lados de tensión y de presión, lo que sugiere funciones diferentes para cada uno de estos microambientes (13) y provoca fenómenos inflamatorios no solamente en el ligamento periodontal.

Las citocinas son moléculas producidas por las células del ligamento periodontal y por osteoclastos que se encuentran en la zona de presión. En la zona de tensión, las moléculas sintetizadas por los fibroblastos y por los osteoblastos son las encargadas de la regeneración celular y tisular. El receptor activador de NFκB ligando (RANK ligando-RANKL, también llamado ODF, TRANCE y OPGL) es una importante molécula reguladora de la osteoclastogénesis que pertenece

a la familia TNF, y es además el ligando de la osteoprotegerina (OPG) (14,15). La OPG es una proteína antagonista de RANKL expresada por células osteoblásticas, cuya función es inhibir la osteoclastogénesis acelerando la apoptosis de los osteoclastos (16). OPG-RANKL interactúan durante la remodelación ósea que ocurre en procesos fisiológicos y patológicos en el ser humano.

La expresión de OPG y RANKL en las células del ligamento periodontal sometidos a fuerzas ortodónticas ha sido comprobada en estudios realizados en animales (17-19), *in vitro* (20,21) y recientemente en dientes humanos (22). OPG y RANKL también han podido ser detectadas en el fluido crevicular de los dientes humanos movidos mediante ortodoncia (23,24) y en la pulpa de dientes con lesiones periapicales (25). Sin embargo, la respuesta de estas moléculas ante fuerzas ortodónticas generadas por técnicas de autoligado todavía no se ha estudiado.

Considerando que las expresiones de RANKL y de OPG desempeñan un papel crítico durante la remodelación de los tejidos óseos y periodontales sometidos a fuerzas mecánicas, pero que sus funciones en el movimiento dental ortodóntico aún no han sido totalmente dilucidadas, se diseñó un estudio con el propósito de investigar el papel de estas dos moléculas en la respuesta biológica del ligamento periodontal humano sometido a fuerzas ortodónticas generadas por un sistema de *brackets* de arco recto y un sistema de *brackets* de autoligado. La hipótesis que se pretende probar en este trabajo es que RANKL y OPG tienen patrones de expresión diferentes en el ligamento periodontal de los dientes sometidos a estos dos sistemas mecánicos de fuerzas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo este estudio analítico experimental, se seleccionaron 20 pacientes entre 18 y 25 años de edad, con indicación terapéutica de exodoncia de premolares que asistían a la clínica de posgrado de Ortodoncia de la Facultad de Odontología de la Pontificia Universidad Javeriana, en Bogotá. Este estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Facultad de Odontología de la Pontificia Universidad Javeriana. Como requisito para la participación en este estudio, todos los pacientes debían firmar el consentimiento informado. En cada paciente se extrajeron dos premolares superiores. Los premolares del lado derecho representaban el grupo experimental que recibiría las

fuerzas mediante un sistema de *brackets* de autoligado o convencional, durante 15 días, y los del lado izquierdo conformaron el grupo control.

Criterios de inclusión y exclusión

Se incluyeron pacientes que no presentaban antecedentes de síndromes ni patologías sistémicas y premolares con ligamento periodontal sano, sin caries, fracturas o desgastes cervicales extensos. Por otra parte, se excluyeron pacientes fumadores (más de 10 cigarrillos/día), mujeres embarazadas y niños. Del mismo modo, no se incluyeron dientes sin función masticatoria, con restauraciones extensas o con enfermedad periodontal, fractura dentaria durante el procedimiento de luxación y exodoncia.

Modelo clínico para la aplicación de la fuerza ortodóntica *in vivo*

En este estudio experimental *in vivo* los premolares del lado derecho de cada paciente recibieron el sistema de fuerzas indicado para el primer mes de tratamiento tanto en los *brackets* convencionales (Técnica Roth GAC®) como en los *brackets* de autoligado (Autoligado Forestadent®) (arco nitinol 0,12"). Los premolares del lado izquierdo de todos los pacientes conformaron el grupo control, que no recibió fuerzas. Después de 15 días de haber colocado los arcos, se realizó la extracción y se removió el ligamento periodontal de cada premolar, tanto para el grupo experimental como para el grupo control.

Toma de muestras del ligamento periodontal

En una misma sesión se realizó la exodoncia simple de los dos premolares (experimental y control), previa anestesia, con métodos convencionales de sindesmotomía, luxación con elevador recto y extracción con fórceps. El ligamento periodontal se recolectó mediante su desprendimiento de la porción radicular con una hoja de bisturí N.º 15. Teniendo en cuenta que durante la fase de alineación y nivelación los dientes se mueven hacia el lado vestibular, el ligamento periodontal de lado palatino fue considerado la zona de tensión, y el del lado vestibular fue la zona de presión.

Expresión de OPG y RANKL mediante RT-PCR

Se tomaron los ligamentos periodontales del lado vestibular y palatino de cada diente, tanto para el grupo experimental como para el grupo control. Posteriormente, se sumergió la muestra de cada zona, por separado, en un tubo Eppendorf que contenía una solución amortiguadora libre de RNAsas y DNAsas, y se almacenaron a una temperatura de -20 °C hasta el momento del uso. La extracción de ARN total a partir

de la suspensión se hizo con reactivo de TRIzol (Invitrogen®) de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. El ARN total fue resuspendido en 30 µL de agua DEPC y cuantificado por espectrofotometría con nanodrop1000®. Con el fin de eliminar el ADN contaminante, se tomaron 500 ng de ARN total y se trataron con DNase I (Invitrogen®), según las especificaciones del fabricante. La retrotranscripción del ARN a primera cadena de ADN fue realizada utilizando la SuperScript® III First-Strand Synthesis SuperMix y oligo(dT)20 (Invitrogen®) siguiendo las especificaciones dadas por el fabricante. El cADN obtenido fue cuantificado por espectrofotometría con nanodrop1000®.

La reacción en cadena de la polimerasa (PCR) en tiempo real se realizó por medio del estuche SybrGreen I master (Roche®) con los genes blanco (OPG y RANKL) y el gen de referencia GADPH por triplicado. Las concentraciones finales utilizadas fueron master mix 1X, iniciadores 100 nM cada uno y cADN 100 ng. Los controles negativos utilizados fueron la mezcla de reactivos de la PCR, que reemplazaron la muestra con agua DEPC. Las condiciones de amplificación de la PCR fueron: 1 ciclo 95 °C durante 10 min seguido por 45 ciclos de 95 °C por 10 s, 63 °C para GADPH, 62 °C para OPG y 58 °C para RANKL durante 10 s y 72 °C por 30 s. Las condiciones de la curva de fusión fueron 95 °C durante 5 s, seguido por 65 °C por 1 min y, finalmente, un paso de enfriamiento a 40 °C durante 10 s. El cálculo para determinar los niveles de expresión génica relativa fue $2^{\Delta CT}$.

El diseño de los iniciadores fue realizado con la herramienta primer-blast del Nacional Center for Biotechnology Information (NIH, Bethesda, MD), la cual se encuentra gratuita en <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/tools/primer-blast/> y que utiliza la base de datos Refseq RNA. La secuencia de los iniciadores se observa en la tabla 1.

TABLA 1
IMPRIMADORES UTILIZADOS PARA EL ANÁLISIS DE OPG Y RANKL MEDIANTE RT-PCR

Gene	Forward	Reverse
GADPH	GAAGGTGAAGGTCGGAGTC	GAAGATGGTGATGGGATTTCC
OPG	AAGACCGTGTGCGCCCTTG	ACGCGGTTGTGGGTGCGATT
RANKL	GCCAGTGGGAGATGTTAGACTC	CCCCTTCAGATGATCCTTCA

Análisis estadístico

Las expresiones de OPG y RANKL en los lados de tensión y de presión de cada sistema de fuerzas se compararon con el grupo control. Para el análisis de los resultados se utilizó la prueba H de Kruskal-Wallis. El valor de p considerado significativo fue $p < 0,05$.

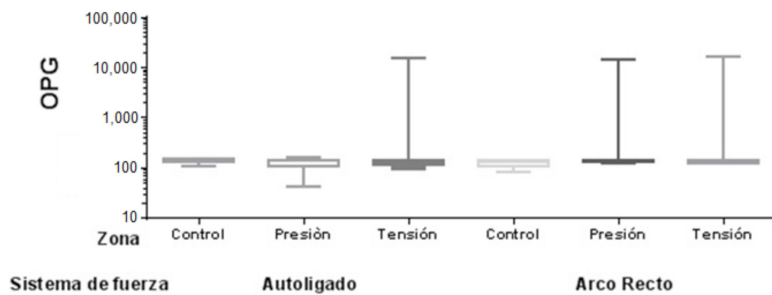
RESULTADOS

Se comparó la expresión de OPG y de RANKL para cada lado del ligamento periodontal (vestibular y palatino-presión y tensión) en cada uno de los sistemas de fuerzas ortodónticas utilizados (convencional y autoligado) por medio de la prueba H de Kruskal-Wallis.

La expresión de OPG en el lado de tensión, comparado con el lado de presión y el grupo control del sistema de fuerzas convencional, no mostró

diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,5146$) (figura 1). La expresión de OPG en el lado de tensión, contrastado con el lado de presión y el grupo control del sistema de fuerzas de autoligado, tampoco mostró diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,6678$). Cuando se confrontó la expresión de OPG en los dos sistemas de fuerzas el valor de p fue 0,5630, lo cual indica que no existen diferencias biológicas en la respuesta de OPG en los tejidos periodontales a las fuerzas ortodónticas generados por estos dos sistemas (figura 1).

FIGURA 1
EXPRESIÓN DE OPG



En contraste, la expresión de RANKL en el lado de presión, comparado con el lado de tensión y el grupo control en el sistema de fuerzas convencional, mostró diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,042$). Igualmente, los valores de expresión de RANKL en el sistema de autoligado registraron un aumento significativo de la expresión de RANKL en el lado de presión del ligamento periodontal ($p < 0,013$). Al comparar los valores de RANKL en los dos sistemas de fuerzas no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,4586$) (figuras 2-4).

FIGURA 2
EXPRESIÓN DE RANKL

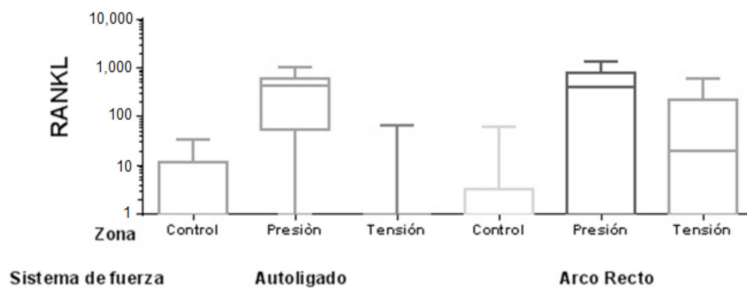


FIGURA 3
COMPARACIÓN DE LA EXPRESIÓN DE RANKL EN LOS DOS SISTEMAS DE FUERZA

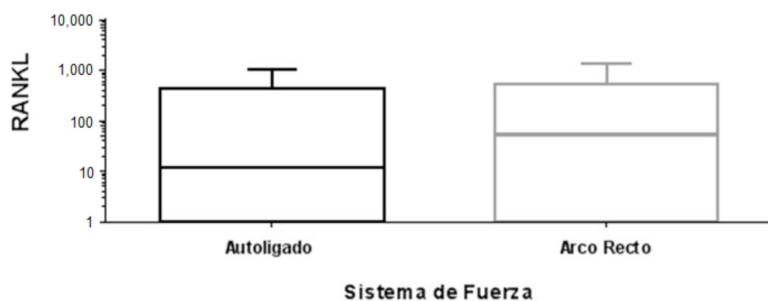
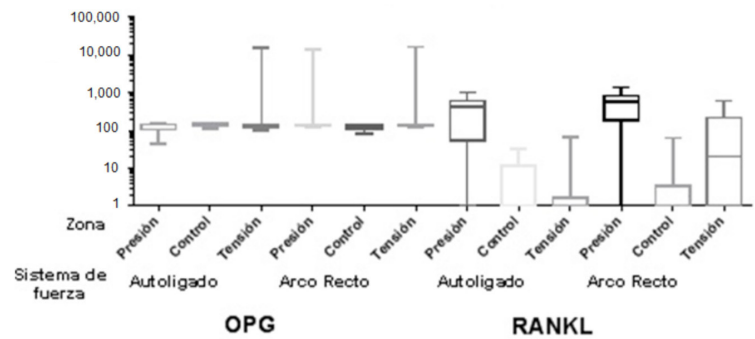


FIGURA 4
COMPARACIÓN DE LA EXPRESIÓN DE RANKL Y OPG SEGÚN EL TIPO DE SISTEMAS DE FUERZAS EMPLEADO Y EL LADO DEL LIGAMENTO PERIODONTAL ANALIZADO



DISCUSIÓN

El sistema de fuerzas de autoligado ha tenido bastante acogida en la última década como terapia ortodóntica fija porque, al parecer, provoca menos fuerzas de fricción y disminuye las molestias iniciales, el número de citas y el tiempo total del tratamiento, al compararlo con el sistema de fuerzas convencional. Sin embargo, los metanálisis y las revisiones sistemáticas recientes en este tema concluyen que no existe la evidencia suficiente que compruebe las ventajas del sistema de fuerzas de autoligado sobre el convencional (26,27). Chen y colaboradores (28) han mostrado que las únicas ventajas del sistema de fuerzas de autoligado sobre el sistema convencional es que reduce el tiempo de sillón y produce una ligera menor vestibularización de los incisivos.

El propósito del presente estudio fue comparar la expresión de OPG y RANKL en los tejidos periodontales, para determinar si la actividad de remodelación ósea producida por las fuerzas ortodónticas era diferente con los dos sistemas de fuerzas. Las citocinas son moléculas producidas por las células del ligamento periodontal y por osteoclastos que se encuentran en la zona de presión. En la zona de tensión, las moléculas sintetizadas por los fibroblastos y por los osteoblastos son las encargadas de la regeneración celular y tisular. La expresión de RANKL y OPG ha mostrado ser un buen indicador de la remodelación ósea que ocurre en los tejidos periodontales después de la aplicación de fuerzas ortodónticas.

Los resultados del presente estudio comprueban que RANKL tiene un importante papel en la regulación de la actividad osteoclástica, porque su expresión fue significativamente mayor en el lado de presión del ligamento periodontal en dientes sometidos a fuerzas ortodónticas. Sin embargo, esta diferencia no fue estadísticamente significativa cuando se compararon los dos sistemas de fuerzas. Por otro lado, la expresión de OPG en el ligamento periodontal no mostró diferencias en la respuesta biológica entre los dientes experimentales y los dientes control, por zona y por sistema de fuerza. Estos hallazgos sugieren que no existen diferencias en la respuesta biológica de los tejidos periodontales entre el sistema de fuerzas convencional y el sistema de autoligado, lo cual parece comprobar los hallazgos clínicos publicados hasta el momento, donde no se reportan ventajas para alguno de los dos sistemas de fuerza.

La respuesta biológica del ligamento periodontal y del hueso alveolar ante la aplicación de fuerzas ortodónticas, cuando se comparan los sistemas de fuerza convencional y de autoligado, no había sido estudiada. Bolamperti y colaboradores (29) evaluaron la actividad de la lactato deshidrogenasa (LDH) en el fluido crevicular de dientes sometidos a fuerzas ortodónticas con *brackets* de autoligado, con el propósito de determinar si esta enzima, que está relacionada con procesos inflamatorios y de destrucción tisular, podría servir como marcador del tipo y extensión de fuerzas durante el movimiento ortodóntico realizado con técnicas de autoligado.

En ese estudio no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los dientes control y los dientes que recibieron fuerzas ortodónticas; se sugirió que este hecho se debe a las pocas fuerzas de fricción producidas con la técnica de autoligado. Sin embargo, Bolamperti y colaboradores no compararon los niveles de LDH en el fluido crevicular de dientes sometidos a fuerzas ortodónticas con técnicas convencionales. Otros autores, Pandis y colaboradores (30), compararon la reabsorción apical radicular externa (RARE) producida por un sistema de fuerzas ortodónticas convencional y un sistema de fuerzas de autoligado. Sus hallazgos mostraron que la RARE estaba más relacionada con la duración del tratamiento que con el tipo de sistema de fuerzas empleado. Los resultados de los pocos estudios reportados en la literatura en relación con la respuesta biológica y mecánica del sistema de fuerzas de autoligado sugieren que no existen ventajas tangibles del sistema de autoligado sobre el sistema de fuerzas convencional en ortodoncia.

CONCLUSIONES

La mayor expresión de RANKL en el lado de presión del ligamento periodontal de dientes sometidos a fuerzas ortodónticas con técnicas de autoligado y convencional fue estadísticamente significativa, comparada con la expresión de RANKL en el lado de tensión y en los dientes control.

Los niveles de OPG no mostraron diferencias estadísticamente significativas al compararlos entre zonas y sistemas de fuerza.

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la expresión de OPG y RANKL entre el sistema de fuerzas de autoligado y el sistema de fuerzas convencional.

Al no existir literatura que compare la respuesta biológica generada por los dos sistemas de fuerza, convencional y autoligado, los resultados obtenidos en este estudio abren paso hacia el entendimiento de estos mecanismos biológicos y al desarrollo de futuras investigaciones que fortalezcan el conocimiento en el área.

RECOMENDACIONES

Son necesarios futuros estudios que evalúen la expresión de otras citocinas en el ligamento periodontal de los dientes sometidos a diferentes sistemas de fuerzas en ortodoncia. También son importantes futuros estudios que evalúen la expresión de moléculas marcadoras de remodelación tisular en diferentes intervalos de tiempo con diferentes magnitudes de fuerza y en diferentes sistemas de fuerza. Se deben realizar estudios que busquen comparar la respuesta mecánica y biológica producida por el sistema de fuerzas de autoligado y el sistema de fuerzas convencional.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por la casa dental Forestadent y la Pontificia Universidad Javeriana. La joven investigadora que participó en este proyecto de investigación fue financiada por el Departamento Colombiano de Ciencia, Tecnología e Innovación, Colciencias. Este proyecto fue avalado por el Comité de Investigación y Ética de la Facultad de Odontología de la Pontificia Universidad Javeriana, Acta 009 del 2010.

REFERENCIAS

1. Uribe GA. Ortodoncia teoría y clínica. 1a ed. Medellín, Colombia: Corporación para Investigaciones Biológicas; 2004.
2. Andrews LF. The straight-wire appliance, origin, controversy, commentary. *J Clin Orthod.* 1976 Feb; 10(2): 99-114.
3. Stolzenberg J. The Russell attachment and its improved advantages. *Int J Orthod Dent Children.* 1935; 21: 837-40.
4. Pizzoni L, Ravnholt G, Melsen B. Frictional forces related to self-ligating brackets. *Eur J Orthod.* 1998 Jun; 20 (3): 283-91.
5. Cacciafesta V, Sfondrini MF, Ricciardi A, Scribante A, Klersy C, Auricchio F. Evaluation of friction of stainless steel and esthetic self-ligating brackets in various bracket-archwire combinations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003 Oct; 124(4): 395-402.

6. Burrow SJ. Friction and resistance to sliding in orthodontics: a critical review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009 Apr; 135(4): 442-7.
7. Mavreas D. Self-ligation and the periodontally compromised patient: a different perspective. *Semin Orthod.* 2008 Mar; 14(1): 36-45.
8. Krishnan V, Davidovitch Z. On a path to unfolding the biological mechanisms of orthodontic tooth movement. *J Dent Res.* 2009 Jul; 88(7): 597-608.
9. Otero L, Zapata A, Rubio G. *Fundamentos de la Odontología-Ortodoncia.* Bogotá: Facultad de Odontología, Pontificia Universidad Javeriana, Javegraf; 2002.
10. Rygh P. Ultrastructural change in tension zones of rat molar periodontium incident to orthodontic tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1976 Sep; 70(3): 269-81.
11. Tanaka N, Shimpo N, Hirashita O. Calcification of degenerating tissues in the periodontal ligament during tooth movement. *J Periodontal Res.* 2003 Jun; 38(3): 343-50.
12. Suda T, Takahashi N, Martin TJ. Modulation of osteoclast differentiation. *Endocr Rev.* 1992 Feb; 13(1): 66-79.
13. Garlet TP, Coelho U, Repeke CE, Silva JS, Cunha F de Q, Garlet GP. Differential expression of osteoblast and osteoclast chemoattractants in compression and tension sides during orthodontic movement. *Cytokine.* 2008 Jun; 42(3): 330-5.
14. Roberts-Harry D, Sandy J. Orthodontics. Part 11: orthodontic tooth movement. *Br Dent J.* 2004 Apr; 196(7): 391-4.
15. Yasuda H, Shima N, Nakagawa N, Yamaguchi K, Kinoshita M, Mochizuki S, Tomoyasu A, Yano K, Goto M, Murakami A, Tsuda E, Morinaga T, Higashio K, Udagawa N, Takahashi N, Suda T. Osteoclast differentiation factor is a ligand for osteoprotegerin/osteoclastogenesis-inhibitory factor and is identical to TRANCE/RANKL. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 1998 Mar 31; 95(7): 3597-602.
16. Oshiro T, Shiotani A, Shibasaki Y, Sasaki T. Osteoclast induction in periodontal tissue during experimental movement of incisors in osteoprotegerin-deficient mice. *Anat Rec.* 2002 Apr; 266(4): 218-25.
17. Ogasawara T, Yoshimine Y, Kiyoshima T, Kobayashi I, Matsuo K, Akamine A, Sakai H. In situ expression of RANKL, RANK, osteoprotegerin and cytokines in osteoclasts of rat periodontal tissue. *J Periodontal Res.* 2004 Feb; 39(1): 42-9.
18. Burgess TL, Qian Y, Kaufman S, Ring BD, Van G, Capparelli C, Kelley M, Hsu H, Boyle WJ, Dunstan CR, Hu S, Lacey DL. The ligand for osteoprotegerin (OPGL) directly activates mature osteoclasts. *J Cell Biol.* 1999 May; 145(3): 527-38.
19. Lacey DL, Tan HL, Lu J, Kaufman S, Van G, Qiu W, Rattan A, Scully S, Fletcher F, Juan T, Kelley M, Burgess TL, Boyle WJ, Polverino AJ. Osteoprotegerin ligand modulates murine osteoclast survival in vitro and in vivo. *Am J Pathol.* 2000 Aug; 157(2): 435-48.
20. Kanzaki H, Chiba M, Shimizu Y, Mitani H. Periodontal ligament cells under mechanical stress induce osteoclastogenesis by receptor activator of nuclear factor kappaB ligand up-regulation via prostaglandin E2 synthesis. *J Bone Miner Res.* 2002 Feb; 17(2): 210-20.
21. Yamaguchi M, Ozawa Y, Nogimura A, Aihara N, Kojima T, Hirayama Y, Kasai K. Cathepsins B and L are increased in the response of periodontal ligament cells to mechanical stress in vitro. *Connect Tissue Res.* 2004; 45(3): 181-9.
22. Garlet TP, Coelho U, Silva JS, Garlet GP. Cytokine expression pattern in compression and tension sides of the periodontal ligament during orthodontic tooth movement in humans. *Eur J Oral Sci.* 2007 Oct; 115(5): 355-62.
23. Nozoe T, Yamaguchi M, Nogimura A, Aihara N, Kojima T, Kasai K. The level of cathepsin L in gingival crevicular fluid during orthodontic tooth movement and effect of tension-force on cathepsin L activity from periodontal ligament cells. *Orthod Waves.* 2002; 61(6): 447-53.
24. Kawasaki K, Takahashi T, Yamaguchi M, Kasai K. Effects of aging on RANKL and OPG levels in gingival crevicular fluid during orthodontic tooth movement. *Orthod Craniofac Res.* 2006 Aug; 9(3): 137-42.
25. Kawashima N, Suzuki N, Yang G, Ohi C, Okuhara S, Nakano-Kawanishi H, Suda H. Kinetics of RANKL, RANK and OPG expressions in experimentally induced rat periapical lesions. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2007 May; 103(5): 707-11.
26. Fleming PS, Johal A. Self-ligating brackets in orthodontics. A systematic review. *Angle Orthod.* 2010 May; 80(3): 575-8.
27. Čelar A, Schedlberger M, Dörfler P, Bertl M. Systematic review on self-ligating vs. conventional brackets: initial pain, number of visits, treatment time. *J Orofac Orthop.* 2013 Jan; 74(1): 40-51.
28. Chen SS, Greenlee GM, Kim JE, Smith CL, Huang GJ. Systematic review of self-ligating brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010 Jun; 137(6): 726.
29. Bolamperti L, Montanari P, Levrini L, Macchi A, Tagliabue A, Caprioglio A. Tissue response during self-ligating treatment. *Prog Orthod.* 2012 Sep; 13(2): 109-16.
30. Pandis N, Nasika M, Polychronopoulou A, Eliades T. External apical root resorption in patients treated with conventional and self-ligating brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008 Nov; 134(5): 646-51.

CORRESPONDENCIA

Liseth Yamile Wilches Buitrago
 lwilches@javeriana.edu.co

Dabeiba Adriana García Robayo
 garciad@javeriana.edu.co

Lina María Quintero Tamayo
 linama.quintero@gmail.com

Alfonso de los Reyes Victoria
delosreyesvictoria@yahoo.com

María del Pilar Aranza Jiménez
pilararanza@gmail.com

Liliana Margarita Otero Mendoza
lotero@javeriana.edu.co

