

Recibido: 12 de diciembre del 2010 Aprobado: 16 de febrero del 2011

## REABSORCIÓN RADICULAR ASOCIADA A MOVIMIENTOS ORTODÓNCICOS: UNA REVISIÓN DE LITERATURA

### ROOT RESORPTION ASSOCIATED TO ORTHODONTIC MOVEMENTS: A LITERATURE REVIEW

Claudia Luna O.,<sup>1</sup> Andrés Sánchez R.,<sup>2</sup> Eliana Zapata Z.,<sup>3</sup> Jaime Rendón<sup>4</sup>

#### RESUMEN

La presente revisión de literatura acerca de reabsorción radicular externa asociada a movimientos ortodóncicos fue realizada en la Universidad Cooperativa de Colombia, sede Envigado durante el 2010. La reabsorción radicular externa [RRE] es una manifestación común de la respuesta dental al tratamiento ortodóncico. El propósito de esta revisión de literatura consiste en abordar la información científica disponible para tener un conocimiento del desarrollo de este proceso y de los factores relacionados con éste. El análisis cuantitativo de la reabsorción radicular externa mediante el uso tradicional de radiografías y análisis histológicos ha demostrado ser impreciso, difícil de reproducir y técnicamente sensible. Los resultados de esta consulta sugieren hallazgos diversos, incluso contradictorios, con un carácter multifactorial para la reabsorción radicular externa, debido posiblemente a un número reducido de investigaciones de significancia estadística en el campo de la investigación bioquímica y a una mayor asociación con creencias de tipo clínico generadas casi todas desde la observación postratamiento. La aplicación de fuerzas variadas durante el tratamiento ortodóncico produce remodelación ósea y conjuntamente remodelado radicular, incluso durante el periodo posortodóncico (recidiva); por ello el ortodoncista debe comprender este proceso ya que es una complicación frecuente pero impredecible dentro del tratamiento. Es necesario un conjunto de esfuerzos multidisciplinarios que aborden el tema con estudios sistemáticos y proporcionen postulados más confiables; esto brindará al ortodoncista un mayor conocimiento del tema, y así podrá evitar las complicaciones y disminuir la incidencia de resultados negativos durante el movimiento dental.

**Palabras clave:** aparatos ortodóncicos, reabsorción dental, reabsorción radicular.

#### ABSTRACT

This literature review about external root resorption linked to orthodontic movements was carried out in 2010 at Universidad Cooperativa de Colombia, Envigado. External root resorption is common as a dental response to an orthodontic treatment. The objective of this paper is to examine the available information through a literature review, regarding this topic in order to have an approach to its development and related factors. A quantitative analysis of external root resorption by traditional radiologic and histological analyses have proven to be inaccurate, hardly to reproduce and technically sensitive. Results of this work suggest different, even contradictory finding with a multifactorial nature for external root resorption, maybe to a fewer number of researches with statistical significance in biochemical field and a growing number of clinical assumptions driven by a post-treatment observation. The application of diverse forces during an orthodontic treatment generates a bone turnover and a root remodeling, even during relapse. Therefore, the orthodontist must understand this process, since it is a common, yet unpredictable complication during treatment. It is required to gather a number of multidisciplinary efforts to approach this topic using systematic analysis and put forward more reliable theories. This will give the orthodontist a greater knowledge to prevent complications and reduce incidence of negative results in dental movement.

**Keywords:** orthodontic appliances, dental resorption, root resorption.

Cómo citar este artículo: Luna O. Claudia, Sánchez R. Andrés, Zapata Z. Eliana, Rendón Jaime. Reabsorción radicular asociada a movimientos ortodóncicos: una revisión de literatura. Revista Nacional de Odontología. 2011; 7(13): 61-67.

<sup>1</sup> Residente de segundo año de la Especialización en Clínica Ortodoncia de la Universidad Cooperativa de Colombia, sede Envigado. Correo electrónico: claudia.luna@campusucc.edu.co

<sup>2</sup> Residente de segundo año de la Especialización en Clínica Ortodoncia de la Universidad Cooperativa de Colombia, sede Envigado. Correo electrónico: andres.sanchezr@campusucc.edu.co

<sup>3</sup> Residente de segundo año de la Especialización en Clínica Ortodoncia de la Universidad Cooperativa de Colombia, sede Envigado. Correo electrónico: luz.zapataz@campusucc.edu.co

<sup>4</sup> Endodoncista del CES. Candidato a Máster de Microbiología y Bioanálisis de la Universidad de Antioquia. Docente de pregrado y posgrado de la Universidad Cooperativa de Colombia, sede Envigado y de la Universidad de Antioquia. Correo electrónico: jaime.rendon@campusucc.edu.co

## Introducción

La reabsorción radicular externa (RRE) es una reacción adversa común e impredecible al movimiento dental ortodóncico, que puede incluso ocurrir bajo condiciones fisiológicas.<sup>1</sup> La etiología exacta de la RRE es desconocida, pero es un problema en su mayoría multifactorial que compromete predisposición genética, factores ambientales asociados con la morfología radicular y factores relacionados con el tratamiento ortodóncico entre otros.<sup>2-4</sup>

El grado de RRE inducida por ortodoncia varía de leve a severa.<sup>5</sup> Investigaciones previas han demostrado que la RRE con pérdida de longitud de la raíz puede ocurrir a los 35 días de tratamiento ortodóncico, incluso con la aplicación de fuerzas ligeras.<sup>6,7</sup>

El propósito de esta revisión de literatura es brindar información específica tanto del proceso de RRE inducida por movimientos ortodóncicos, como de los factores predisponentes para esta patología.

### Reabsorción radicular externa

En 1856 Bates fue el primero en mencionar la reabsorción radicular de dientes permanentes, pero fue Ottolengui quien estableció la relación directa entre el tratamiento ortodóncico y la RRE.<sup>8</sup> Brezniak y Wasserstein argumentaron que al referirse a cualquier reabsorción radicular que fuese inducida por una fuerza ortodóncica debería emplearse el término *reabsorción radicular inflamatoria inducida ortodóncicamente* (RRIIO).<sup>9</sup>

Las fuerzas ortodóncicas aplicadas al sistema biológico actúan de manera similar en el hueso y en el cemento, los cuales se encuentran separados por el ligamento periodontal. Si no existieran diferencias en el comportamiento biológico de estos dos órganos, ambos se reabsorberían igualmente. Puesto que el cemento es más resistente a la reabsorción, comparado con el hueso, las fuerzas aplicadas usualmente causan reabsorción de tipo óseo, lo cual conlleva al movimiento dentario. Sin embargo, el cemento y la dentina también se pueden reabsorber.<sup>8</sup>

Las células responsables de la reabsorción radicular son los odontoclastos; éstos comparten similitudes morfológicas y funcionales con los osteoclastos.<sup>10</sup> La reabsorción de los tejidos dentales calcificados

ocurre cuando los osteoclastos obtienen acceso al tejido mineralizado por alguna brecha en la capa de células formativas que cubre al tejido, o cuando el precemento sufre algún tipo de daño mecánico. Las áreas mineralizadas o denudadas de la raíz atraen células que reabsorben el tejido duro, favoreciendo la reabsorción de las zonas afectadas.<sup>8</sup>

La actividad reabsortiva en respuesta a estímulos mecánicos o químicos generados por las células del ligamento periodontal se caracteriza por la síntesis de prostaglandina E con un concomitante aumento en el AMPc. Este proceso es regulado por algunas hormonas (paratiroidea y calcitonina), neurotransmisores (sustancia P, péptido intestinal vasoactivo, y péptido relacionado con el gen de la calcitonina), y citoquinas o monoquinas (IL-1, IL-2, TNF, e IFN).<sup>8</sup>

Investigaciones en seres humanos y animales demuestran que el proceso de hialinización periodontal precede al proceso de RRE durante el tratamiento ortodóncico. La eliminación del tejido hialino está relacionada con la RRIIO.<sup>8,9</sup>

El proceso de necrosis del ligamento periodontal durante el movimiento ortodóncico en el lado de presión con formación de zonas hialinas libres de células, seguida de reabsorción osteoclástica del hueso alveolar vecino y aposición de hueso por los osteoblastos en el lado donde existe tensión, son las características histológicas típicas de estos procesos. El proceso de reabsorción de los tejidos dentales duros parece ser desencadenado por la actividad de las citoquinas, al igual que en el proceso reabsortivo del hueso. Las células inmunes migran fuera de los capilares en el ligamento periodontal e interactúan con las células locales elaborando una extensa cohorte de moléculas de señal para osteoblastos y osteoclastos.<sup>11</sup>

El proceso de la RRE continúa hasta que no haya tejido hialino o el nivel de fuerza producida por la ortodoncia decrezca. Las lagunas de reabsorción se expanden sobre las superficies radiculares involucradas y, por tanto, disminuyen indirectamente la presión ejercida a través de la aplicación de la fuerza. Esta pérdida de presión sobre los tejidos periodontales permite que se dé la reparación del cemento.<sup>9</sup>

Investigaciones previas indican que la RRE que ocurre secundaria al tratamiento de ortodoncia convencional es un problema multifactorial asociado tanto con las características del paciente, como con los factores del tratamiento.<sup>12</sup> Brezniak y Wasserstein clasificaron los factores asociados con la RRE en cuatro categorías: 1. biológicos, 2. mecánicos, 3. mecánicos y biológicos combinados, y 4. otros factores.<sup>9</sup>

### Factores biológicos

*Susceptibilidad individual:* el proceso de RRE parece variar entre las personas, y varía también dentro de la misma persona en diferentes épocas.<sup>12-14</sup>

*Genética:* se ha reportado asociación familiar para la RRE, aunque el patrón de herencia aún no está claro. La heredabilidad se estimó en cerca del 70% para los incisivos maxilares y las raíces mesiales y distales de los primeros molares mandibulares. La baja síntesis de IL-1 $\beta$  puede resultar en una remodelación (reabsorción) ósea relativamente menor en la interfase del hueso cortical con el ligamento periodontal, lo cual puede producir fuerzas prolongadas concentradas en la superficie radicular, que llevan al proceso de reabsorción.<sup>13</sup> También se ha encontrado un componente genético en las familias con raíces cortas.<sup>15</sup>

*Factores sistémicos:* se ha sugerido que el desbalance hormonal no causa pero influencia la RRE.<sup>9</sup> Davidovitch *et al.*<sup>3</sup> formularon la hipótesis de que individuos cuyas condiciones médicas afectan el sistema inmune pueden tener un alto nivel de riesgo para desarrollar RRE excesiva durante el curso del tratamiento ortodóncico.<sup>16</sup>

Asimismo, se ha reportado una alta incidencia de RRE en pacientes asmáticos, la cual podría deberse a cambios en el sistema inmune.<sup>16, 17</sup> Se ha planteado la idea de si los mediadores inflamatorios generados fuera del ligamento periodontal influyen las interacciones celulares involucradas en la RRE, atrayendo o activando progenitores de cementoclastos u osteoclastos. El asma ha sido asociada con la producción de tales mediadores inflamatorios, los cuales circulan a través del cuerpo por vía sanguínea. Estos mediadores inflamatorios podrían penetrar el espacio extravascular del ligamento periodontal, en especial durante el movimiento dentario, momento

en el cual hay un aumento temporal de la irrigación sanguínea en el ligamento periodontal, la pulpa y el hueso alveolar.<sup>16, 17</sup>

*Género:* no se ha encontrado una relación clara entre el género y la RRE.<sup>9, 13, 18</sup>

*Hábitos:* la onicofagia,<sup>19</sup> el empuje lingual con mordida abierta,<sup>15</sup> la succión digital y la presión lingual<sup>20</sup> están relacionados con un incremento en la RRE.<sup>9</sup>

*Morfología radicular:* se ha reportado que los dientes con formas anómalas son más susceptibles a la RRE.<sup>13, 14, 16, 18, 21, 22</sup> Esto se debe a que cuando se aplica una fuerza sobre el ápice radicular, la distribución de la carga difiere del modo como ocurre en una raíz normal, causando trauma al ligamento periodontal, y por tanto RRE.<sup>16</sup> Hay quienes afirman que las raíces cortas tienden a desarrollar más RRE,<sup>13-15</sup> aunque algunos autores también sostienen que ésta es mayor en raíces más largas,<sup>13, 21</sup> pues estas últimas necesitan mayores fuerzas para ser movidas y hay mayor desplazamiento del ápice radicular en movimientos de torque e inclinación. Lee *et al.*,<sup>20</sup> sin embargo, no encontraron diferencias en la prevalencia de la RRE en pacientes con o sin anomalías dentales.

La longitud y forma de las raíces de dientes sanos son importantes en la presencia de RRE presentando más riesgo las raíces cortas, dilaceradas, con forma de pipeta y ápices cónicos o puntiagudos.<sup>21</sup>

*Historia de trauma previo:* los dientes que han sufrido traumas dentoalveolares son más propensos a sufrir RRE,<sup>9, 12, 14, 20, 22</sup> la cual puede ocurrir independientemente de que haya obliteración pulpar o se haya realizado tratamiento endodóncico. Los dientes vitales con evidencia radiográfica de RRE son más susceptibles a continuarla durante el tratamiento de ortodoncia.<sup>9</sup>

*Tipo de maloclusión:* parece no haber correlación entre la severidad de la maloclusión y la RRE;<sup>9, 15, 21</sup> sin embargo, hay quienes sostienen que la cantidad de movimiento requerido para la corrección de la maloclusión es directamente proporcional a la severidad de ésta.<sup>13</sup>

*Vulnerabilidad dental específica:* la mayoría de los estudios coinciden en que se presenta mayor RRE en los dientes maxilares que en los dientes mandibulares, siendo los incisivos laterales y centrales maxilares los más afectados.<sup>9, 20</sup>

## Factores mecánicos

*Tipo de aparatología:* se ha reportado que los aparatos removibles pueden causar más RRE que la aparatología fija, por las fuerzas descontroladas aplicadas a las raíces.<sup>9</sup> Los alambres rectangulares y los elásticos clase II<sup>18, 20, 21</sup> también han sido asociados con un incremento en la RRE,<sup>12, 14, 23</sup> lo cual también puede deberse a las fuerzas descontroladas. Lo que sí es cierto, es que ninguna técnica reduce o elimina la RRE con certeza.<sup>13, 18</sup>

*Tratamiento con o sin extracciones:* algunos autores sostienen que las extracciones aumentan la posibilidad de RRE por tener que realizar mayor movimiento para el cierre de espacios.<sup>13</sup> McNab, por ejemplo, encontró que la incidencia de RRE era 3,72 veces mayor en pacientes tratados con extracciones, que en aquellos a quienes no se les realizaron.<sup>17</sup> Sin embargo, más recientemente Brezniak planteó que los estudios realizados no brindan conclusiones definitivas al respecto.<sup>18</sup>

*Fuerzas ortodóncicas:* se ha reportado que a mayor fuerza durante la ortodoncia, mayor RRE se produce.<sup>9</sup> Sin embargo, la aplicación de la fuerza ortodóncica algunas veces puede provocar RRE excesiva del cemento radicular, siguiendo luego con la dentina radicular, lo que acorta eventualmente la longitud de dicha raíz.<sup>24</sup> Junto con otros factores, las fuerzas ortodóncicas pueden iniciar y sostener el proceso reabsortivo.<sup>15</sup> Jarabak y Fizzell,<sup>16, 25</sup> luego de analizar el efecto de los sistemas de fuerza durante la mecanoterapia, concluyeron que la magnitud de una fuerza ortodóncica y fijación rígida del arco a los brackets podrían ser considerados los factores más importantes que predisponen un diente a sufrir RRE.<sup>17, 18, 26</sup>

Brezniak y Wasserstein clasificaron la RRE de acuerdo con su severidad. Con base en esto, es posible identificar: 1. reabsorción de cemento o de superficie, en la que sólo las capas externas se reabsorben, para ser completamente regeneradas o remodeladas posteriormente; 2. reabsorción dentinal con reparación, en la que se reabsorben el cemento y las capas externas de la dentina, y son reparadas junto con alteraciones morfológicas, y 3. reabsorción radicular circunferencial, en la cual ocurre reabsorción completa de los

componentes de tejido duro del ápice radicular, lo que da como resultado un acortamiento radicular.<sup>27</sup>

Las ayudas diagnósticas como la serie periapical y las radiografías panorámicas son útiles para detectar procesos reabsortivos en la mitad del tratamiento.<sup>12, 28-30</sup> Cuando se encuentre tal hallazgo, se recomienda una detención temporal en el tratamiento ortodóncico de cuatro a seis meses dependiendo de la severidad de la reabsorción.<sup>12, 31-33</sup>

## Fuerzas continuas, interrumpidas e intermitentes

La mayoría de la aparatología ortodóncica fija actual utiliza fuerzas continuas y ligeras como parte de la mecanoterapia ortodóncica para producir el movimiento dentario. Sin embargo, una fuerza continua puede decrecer rápidamente y, por tanto, interrumpirse luego de un periodo limitado de tiempo. No siempre es posible distinguir entre movimientos continuos e interrumpidos, y estos últimos actúan sólo por periodos comparativamente cortos.<sup>34</sup> Sin embargo, parece ser que esta clase de fuerza que inicia de forma continua y luego se interrumpe, es biológicamente favorable, particularmente cuando su magnitud inicial es baja. En tal caso, se pueden llegar a formar zonas hialinizadas en sitios donde el ligamento periodontal está comprimido. El periodo de reposo entre las activaciones de la aparatología es el tiempo utilizado por los tejidos para su reorganización. Este reposo puede promover proliferación celular favorable para cambios posteriores en el tejido cuando la aparatología sea activada nuevamente.<sup>35-37</sup> Las fuerzas intermitentes son principalmente producidas por aparatología removable;<sup>34</sup> esta fuerza da como resultado pequeñas zonas de compresión en el ligamento periodontal, periodos cortos de hialinización, y largos periodos de reposo cuando la aparatología es removida intermitentemente. Durante este tiempo, el diente se mueve de nuevo hacia el lado de tensión y permanece en función normal. Este modo de tratamiento puede mejorar la circulación periodontal y promover un incremento en el número de células del ligamento periodontal, puesto que sus fibras usualmente mantienen una organización funcional.<sup>35, 38-43</sup>

## Fuerzas ligeras versus pesadas y tasa de movimiento dentario

En el 2002 Kohno *et al.*<sup>44</sup> reportaron que las fuerzas ligeras pueden inclinar los dientes sin fricción, con una tasa constante de movimiento dental sin las fases de fuerza inicial, fase de latencia y movimiento dental progresivo. Asimismo, Quinn y Yoshikawa<sup>38</sup> describieron cuatro modelos alternativos para la relación magnitud de fuerza/movimiento dental. Hallazgos en estudios previos sugieren que con magnitudes crecientes de fuerzas ortodóncicas se alcanzará una tasa constante de movimiento dental, dentro de un amplio rango de fuerzas. Esta observación ha llevado a la conclusión de que la magnitud de la fuerza desempeña sólo un papel subordinado en el movimiento dental ortodóncico y la RRE. Aparentemente el factor determinante es el grado de hialinización del ligamento periodontal en respuesta a la aplicación de fuerzas pesadas. La tasa de remoción de este tejido necrótico puede depender del patrón de distribución de la fuerza en los tejidos periodontales, de las características del ligamento periodontal, y de la morfología ósea.<sup>38, 39, 43, 45, 46</sup>

## Clasificación de la reabsorción

La reabsorción radicular es casi imposible diagnosticarla clínicamente debido a la ausencia de síntomas; por tanto, se ha empleado la radiografía panorámica y la radiografía periapical como principales ayudas diagnósticas, siendo esta última la más común. Sin embargo, con el advenimiento de la tomografía computarizada, se ha comprobado que ésta detecta un 50% más de casos de reabsorción que la panorámica y la periapical.<sup>47, 48</sup>

En 1998 Levander y Malmgren<sup>49</sup> propusieron una clasificación del grado de reabsorción radicular como consecuencia del tratamiento de ortodoncia con una escala de 1 a 4, usando radiografías periapicales, observándose en grado 1 un contorno radicular irregular, mientras que en grado 2 se observa una reabsorción apical menor a 2 mm, en grado 3 se observa una reabsorción apical de 2 mm hasta  $\frac{1}{3}$  de la longitud radicular original, y en grado 4 la reabsorción radicular excede  $\frac{1}{3}$  de la longitud radicular original.<sup>49, 50</sup>

## Conclusiones

1. Después de analizar los diferentes factores que podrían incidir en la RRE, y la opinión de los diversos autores al respecto, se podría afirmar que en muchas de las áreas no hay consenso. La posibilidad de que se presente un mayor o menor grado de RRE, debe ser abordada con un enfoque multifactorial y teniendo en cuenta las características y la susceptibilidad particulares de cada individuo.
2. Al iniciar un tratamiento de ortodoncia se deben tener presente factores como la morfología radicular existente, raíces en forma puntiaguda, dilaceradas y en forma de pipeta, pues la distribución de las fuerzas a nivel apical se ve alterada resultando en una mayor incidencia de RRE.
3. Los incisivos maxilares, en particular los incisivos centrales, son los más propensos al proceso de RRE, seguidos por los molares maxilares y los caninos. En el arco mandibular, los dientes más propensos a RRE son los incisivos laterales y centrales.
4. La aplicación de fuerzas variadas durante el tratamiento ortodóncico produce remodelación ósea y conjuntamente remodelado radicular, inclusive durante el proceso de la recidiva; por ello el ortodoncista debe comprender este proceso ya que es una complicación frecuente pero impredecible dentro del tratamiento.

## Referencias

1. Henry JL, Weinmann JP. The pattern of resorption and repair of human cementum. J Am Dent Assoc. 1951 Mar; 42(3): 270-90.
2. Linge BO, Linge L. Apical root resorption in upper anterior teeth. Eur J Orthod. 1983 Aug; 5(3): 173-83.
3. Davidovitch Z, Gowdin S, Park Y, Taverne A, Dobeck J, Lilly C, *et al.* Orthodontic treatment: the management of unfavorable sequelae. Gano-facial growth series, 31. Center for human growth and development, Am Arbor, MI. McNamara JA Jr, Trotman C-A, editors; 1996.
4. Harris EF, Kineret SE, Tolley EA. A heritable component for external apical root resorption in patients treated orthodontically. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1997 Mar; 111(3): 301-9.

5. Kaley J, Phillips C. Factors related to root resorption in edgewise practice. *Angle Orthod.* 1991; 61(2): 125-32.
6. Ten Hoeve A, Mulie RM. The effect of antero-postero incisor repositioning on the palatal cortex as studied with laminagraphy. *J Clin Orthod.* 1976 Nov; 10(11): 804-22.
7. Sharpe W, Reed B, Subtelny JD, Polson A. Orthodontic relapse, apical root resorption, and crestal alveolar bone levels. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1987 Mar; 91(3): 252-8.
8. Brezniak N, Wasserstein A. Root resorption after orthodontic treatment: Part 1. Literature review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1993 Jan; 103(1): 62-6.
9. Brezniak N, Wasserstein A. Root resorption after orthodontic treatment: Part 2. Literature review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1993 Feb; 103(2): 138-46.
10. Freilich LS. Ultrastructure and Acid Phosphatase Cytochemistry of Odontoclasts: Effects of Parathyroid Extract. *Journal of Dental Research.* 1971 Sep 1; 50: 1046-55.
11. Jäger A, Zhang D, Kawarizadeh A, Tolba R, Braumann B, Lossdörfer S, *et al.* Soluble cytokine receptor treatment in experimental orthodontic tooth movement in the rat. *Eur J Orthod.* 2005 Feb; 27(1): 1-11.
12. Linge L, Linge BO. Patient characteristics and treatment variables associated with apical root resorption during orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1991 Jan; 99(1): 35-43.
13. Hartsfield JK Jr, Everett ET, Al-Qawasmi RA. Genetic factors in external apical root resorption and orthodontic treatment. *Crit. Rev. Oral Biol. Med.* 2004; 15(2): 115-22.
14. Travess H, Roberts-Harry D, Sandy J. Orthodontics. Part 6: Risks in orthodontic treatment. *Br Dent J.* 2004 Jan 24; 196(2): 71-7.
15. Newman WG. Possible etiologic factors in external root resorption. *Am J Orthod.* 1975 May; 67(5): 522-39.
16. Nishioka M, Ioi H, Nakata S, Nakasima A, Counts A. Root resorption and immune system factors in the Japanese. *Angle Orthod.* 2006 Jan; 76(1): 103-8.
17. McNab S, Battistutta D, Taverne A, Symons AL. External apical root resorption following orthodontic treatment. *Angle Orthod.* 2000 Jun; 70(3): 227-32.
18. Brezniak N, Wasserstein A. Orthodontically induced inflammatory root resorption. Part I: The basic science aspects. *Angle Orthod.* 2002 Apr; 72(2): 175-9.
19. McNab S, Battistutta D, Taverne A, Symons AL. External apical root resorption of posterior teeth in asthmatics after orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1999 Nov; 116(5): 545-51.
20. Lee RY, Artun J, Alonzo TA. Are dental anomalies risk factors for apical root resorption in orthodontic patients? *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1999 Aug; 116(2): 187-95.
21. Mirabella AD, Artun J. Risk factors for apical root resorption of maxillary anterior teeth in adult orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1995 Jul; 108(1): 48-55.
22. Kjaer I. Morphological characteristics of dentitions developing excessive root resorption during orthodontic treatment. *Eur J Orthod.* 1995 Feb; 17(1): 25-34.
23. King GJ, Latta L, Rutenberg J, Ossi A, Keeling SD. Alveolar bone turnover and tooth movement in male rats after removal of orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1997 Mar; 111(3): 266-75.
24. Ferguson D. Oral bioscience. Sandy: Authors OnLine; 2006.
25. Yoshida Y, Sasaki T, Yokoya K, Hiraide T, Shibasaki Y. Cellular roles in relapse processes of experimentally-moved rat molars. *J Electron Microsc (Tokyo).* 1999; 48(2): 147-57.
26. Terespolsky MS, Brin I, Harari D, Steigman S. The effect of functional occlusal forces on orthodontic tooth movement and tissue recovery in rats. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2002 Jun; 121(6): 620-8.
27. Brezniak N, Wasserstein A. Orthodontically induced inflammatory root resorption. Part II: The clinical aspects. *Angle Orthod.* 2002 Apr; 72(2): 180-4.
28. Remington DN, Joondeph DR, Artun J, Riedel RA, Chapko MK. Long-term evaluation of root resorption occurring during orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1989 Jul; 96(1): 43-6.
29. Janson GR, De Luca Canto G, Martins DR, Henriques JF, De Freitas MR. A radiographic comparison of apical root resorption after orthodontic treatment with 3 different fixed appliance techniques. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2000 Sep; 118(3): 262-73.
30. Sameshima GT, Sinclair PM. Predicting and preventing root resorption: Part I. Diagnostic factors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2001 May; 119(5): 505-10.
31. Sameshima GT, Sinclair PM. Predicting and preventing root resorption: Part II. Treatment factors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2001 May; 119(5): 511-5.
32. Parker RJ, Harris EF. Directions of orthodontic tooth movements associated with external apical root re-

- sorption of the maxillary central incisor. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1998 Dec; 114(6): 677-83.
33. Copeland S, Green LJ. Root resorption in maxillary central incisors following active orthodontic treatment. *Am J Orthod.* 1986 Ene; 89(1): 51-5.
  34. Graber T. *Orthodontics: current principles and techniques.* 4th Ed. St. Louis Mo. [London]: Elsevier Mosby; 2005.
  35. Gianelly AA. Force-induced changes in the vascularity of the periodontal ligament. *Am J Orthod.* 1969 Ene; 55(1): 5-11.
  36. Serra E, Perinetti G, D'Attilio M, Cordella C, Paolantonio M, Festa F, *et al.* Lactate dehydrogenase activity in gingival crevicular fluid during orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003 Aug; 124(2): 206-11.
  37. Apajalahti S, Sorsa T, Railavo S, Ingman T. The *in vivo* levels of matrix metalloproteinase-1 and -8 in gingival crevicular fluid during initial orthodontic tooth movement. *J. Dent. Res.* 2003 Dec; 82(12): 1018-22.
  38. Quinn RS, Yoshikawa DK. A reassessment of force magnitude in orthodontics. *Am J Orthod.* 1985 Sep; 88(3): 252-60.
  39. Lee K-J, Park Y-C, Yu H-S, Choi S-H, Yoo Y-J. Effects of continuous and interrupted orthodontic force on interleukin-1beta and prostaglandin E2 production in gingival crevicular fluid. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2004 Feb; 125(2): 168-77.
  40. Toda N, Okamura T. The pharmacology of nitric oxide in the peripheral nervous system of blood vessels. *Pharmacol. Rev.* 2003 Jun; 55(2): 271-324.
  41. Murrell EF, Yen EH, Johnson RB. Vascular changes in the periodontal ligament after removal of orthodontic forces. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1996 Sep; 110(3): 280-6.
  42. Owman-Moll P, Kurol J, Lundgren P. Effects of doubled orthodontic force magnitude of tooth movement and root resorption. *Eur J Orthod.* 1996; 18: 141-50.
  43. Iwasaki LR, Haack JE, Nickel JC, Morton J. Human tooth movement in response to continuous stress of low magnitude. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2000 Feb; 117(2): 175-83.
  44. Kohno T, Matsumoto Y, Kanno Z, Warita H, Soma K. Experimental tooth movement under light orthodontic forces: rates of tooth movement and changes of the periodontium. *J Orthod.* 2002 Jun; 29(2): 129-35.
  45. Hixon EH, Atikian H, Callow GE, McDonald HW, Tacy RJ. Optimal force, differential force, and anchorage. *Am J Orthod.* 1969 May; 55(5): 437-57.
  46. Begg P, Kesling P. Differential force in orthodontic tooth movement. *Am J Orthod.* 1956; 42: 481-510.
  47. Falahat B, Ericson S, D'Amico R, Bjerklín k. Incisor Root resorption due to ectopic maxillary canines. A long term radiographic follow up. *Angle Orthodontics.* 2008; 78(5).
  48. Weltman B, Vig K, Fields H, Shanker S, Kaizar E. Root resorption associated with orthodontic tooth movement: a systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010; 137(4): 462-76.
  49. Levander E, Malmgren O. Evaluation of the risk of root resorption during orthodontic treatment: A study of upper incisors. *Eur J Orthod.* 1988; 10: 30-8.
  50. Costopoulos G, Nanda R. An evaluation of root resorption incident to orthodontic intrusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1996; 109(5): 543-8.