

Revisiones Bibliográficas:

FISIOLOGÍA PERIODONTAL DEL MOVIMIENTO DENTARIO DURANTE EL TRATAMIENTO ORTODÓNICO

Recibido para arbitraje: 12/01/2009

- **María Emilia Schemel:** Especialista en Periodoncia. Profesora Asistente, Cátedra de Radiología, Facultad de Odontología, UCV.
- **Angie Cabrera:** Odontólogo UCV. Docente Colaboradora, Cátedra de Radiología, Facultad de Odontología, UCV.

RESUMEN

La movilización de los dientes durante el tratamiento ortodónico involucra procesos químicos, físicos y mecánicos. A partir de la aplicación de una fuerza, se da inicio a una serie de acontecimientos que dan como resultado el traslado del órgano dental desde su posición original. Existen diversas teorías o hipótesis que intentan describir el proceso de activación del sistema de remodelado óseo, sin embargo, todavía se siguen realizando investigaciones a fin de comprenderlo más detalladamente. El movimiento dentario en sí, requiere del remodelado del hueso alveolar, el cual involucra fases de resorción y aposición ósea. En la siguiente revisión bibliográfica se exponen secuencial y resumidamente los procesos mencionados.

Palabras clave: Remodelado óseo, tratamiento ortodónico, resorción, aposición, fibras periodontales.

ABSTRACT

The teeth mobilization during orthodontic treatment involves chemical, physical and mechanical processes. Since the force application, initiates a series of events that result in the removal of the dental organ from its original position. There are various theories or hypotheses that attempt to describe the activation process of bone remodeling, however, research is still being conducted to understand it in more detail. Tooth movement itself, requires the remodeling of alveolar bone, which involves resorption phases and bone apposition. In the following literature review outlines the summary and sequential processes.

Keywords: Bone remodeling, orthodontic treatment, resorption, apposition, periodontal fibers.

INTRODUCCIÓN

Siempre que el cuerpo humano o algún órgano son sometidos a un estímulo o alteración de su condición fisiológica normal se producen respuestas o reacciones adaptativas destinadas a mantener las funciones regulares del mismo. Generalmente, ocurre una reacción primaria destinada a regularizar alteraciones leves y, según aumenten la intensidad del estímulo y su continuidad en el tiempo, mayor será la respuesta, haciendo que ésta se prolongue y agrave, modificando el normal y correcto funcionamiento fisiológico. Durante la realización del movimiento ortodónico ocurren una serie de respuestas a un estímulo determinado conocido como fuerza. La reacción del organismo variará según la intensidad de la fuerza aplicada, su dirección y duración a lo largo del tiempo, así como también son consideradas variables importantes la conformación estructural del hueso alveolar, fibras periodontales y morfología dentaria (1).

La reacción del hueso alveolar y de las fibras periodontales ha sido ampliamente estudiada durante años, logrando describirse con bastante precisión las modificaciones tisulares del ligamento periodontal, así como generar las teorías que intentan explicar dichos procesos.

Cambios tisulares

Los dientes se encuentran rodeados por hueso que se adapta a su superficie radicular y que forma una cavidad denominada alvéolo. Cada diente está fijado al hueso alveolar por una fuerte estructura colágena de sostén: el ligamento periodontal. Éste, se compone principalmente de una red de fibras colágenas paralelas que se insertan en el cemento de la superficie radicular y en la lámina dura del hueso; el colágeno del ligamento se renueva constantemente durante la función normal. Además el ligamento periodontal presenta otros componentes de gran importancia: elementos celulares que incluyen células mesenquimatosas en forma de fibroblastos y osteoblastos y elementos vasculares, neurales y líquidos históricos que confieren las propiedades hidráulicas (1). Estos componentes son los que permiten la función normal y posibilitan los movimientos ortodóncicos de los dientes (2).

En el tratamiento de ortodoncia se busca movilizar el o los órganos dentarios para reubicarlos en una posición determinada. Para que esto ocurra es necesaria la remodelación ósea, durante la cual tienen lugar procesos de resorción y aposición de hueso; el hueso que se enfrenta y opone al sentido del movimiento tendrá que reabsorberse para permitir el desplazamiento radicular hacia el denominado lado de presión. En el lado opuesto, el hueso deberá seguir al diente tratando de mantener íntegro el espesor periodontal, debiendo producirse un depósito de nuevas capas óseas en el denominado lado de tensión (1).

La respuesta a la fuerza mantenida sobre los dientes dependerá de la magnitud de la misma. Las fuerzas intensas dan lugar a la rápida aparición del dolor, a necrosis de los elementos celulares del ligamento y al fenómeno de la resorción basal. Las fuerzas de menor intensidad son compatibles con la supervivencia de las células del ligamento y con una remodelación del alvéolo dental, mediante una resorción frontal relativamente indolora. En la práctica ortodóncica, se pretende conseguir el mayor movimiento dental posible mediante resorción frontal (3).

Teorías biológicas sobre la activación directa

Existen dos teorías principales que explican cómo una fuerza ligera es capaz de estimular la resorción ósea: la teoría de la electricidad biológica (3) o hipótesis piezoeléctrica (1) y la teoría presión-tensión (3) o hipótesis hidrodinámica de Bien (4). La teoría bioeléctrica atribuye, en parte, el movimiento dental a cambios en el metabolismo óseo, controlados por señales eléctricas que se generan cuando el hueso alveolar se flexiona y deforma. Las señales eléctricas que inician el movimiento dental en un primer momento son de tipo piezoeléctrico, de manera que al producirse la deformación de la estructura cristalina, en este caso, del hueso, el desplazamiento de los electrones de una parte de la red cristalina a otra produce un flujo de corriente eléctrica (3,5,6). Las señales eléctricas producidas interactúan con las cargas electronegativas existentes en la superficie de la membrana plasmática de las células metabólicamente activas en el proceso de remodelación, aumentando la permeabilidad celular y activando su potencial bioeléctrico, el cual conlleva, a su vez, un incremento en la concentración intracelular de segundos mensajeros y, por lo tanto, potencia la respuesta celular (7). Según esta hipótesis, la propiedad biomecánica que controla la localización de la resorción o la neoformación ósea es el cambio en la curvatura superficial que se produce al aplicar la fuerza. En una superficie ósea que se hace más convexa al aplicar la fuerza deformante, se pueden registrar potenciales eléctricos de carga positiva, y cuando la superficie se hace más cóncava, se registran potenciales negativos (1). Se ha demostrado que cuando se colocan electrodos en el hueso, la osteogénesis ocurrirá alrededor del electrodo negativo mientras que la resorción puede ocurrir alrededor del electrodo positivo⁸. Por su parte, la teoría presión-tensión, sostiene que el estrechamiento provocado artificialmente por la fuerza ortodóncica ocasiona una estenosis y la dilatación de las venas, produciendo un microaneurisma. La estasis vascular produce la alteración del flujo sanguíneo en el seno del ligamento periodontal, induciendo cambios rápidos en el entorno químico; las moléculas de oxígeno salen de los vasos sanguíneos y entran en contacto con el hueso, favoreciendo el mecanismo de resorción (9). Estos cambios químicos, actuando directamente o estimulando la liberación de otras sustancias biológicamente activas, estimulan la diferenciación y la actividad celulares (3).

Canut expone también dos teorías adicionales de activación directa: La teoría de la membrana plasmática

y la teoría de los receptores transmembrana. La primera teoría, defiende que al vencerse la resistencia que ofrecen los fluidos del ligamento y producirse el desplazamiento dentario se origina una deformación en la membrana plasmática de las células que se encuentran en el espacio del ligamento periodontal. Esta variación de su forma ocasiona la apertura de determinados canales iónicos que van a permitir el intercambio de sustancias entre los medios intra y extracelulares, como lo son los segundos mensajeros Ca^{2+} , AMPc y GMPC. La segunda teoría, explica que la existencia de determinadas proteínas de superficie en la membrana celular, llamadas integrinas, detectan la fuerza transmitida por el diente durante el desplazamiento y transmiten la información al medio intracelular, dando lugar a los procesos metabólicos requeridos para la activación celular.

Teoría biológica sobre la resorción indirecta o neural

Al aplicar fuerza sobre el diente y vencer la resistencia de los fluidos periodontales son activadas mecánicamente terminaciones nerviosas amielínicas localizadas alrededor de los vasos sanguíneos, que van a liberar neuropéptidos al espacio extracelular. Al ser liberados, estos neuropéptidos actúan como primeros mensajeros, interactuando con las células que se encuentran en el medio o bien sobre los vasos sanguíneos adyacentes. Esta acción produce vasodilatación y extravasación, principalmente de prostaglandinas y leucocitos los cuales desencadenarán un proceso inflamatorio (10,11). Las prostaglandinas son sintetizadas en el tejido por medio de una de las rutas oxidativas del ácido araquidónico y favorecen la permeabilidad y la quimiotaxis vascular, a la vez que activan los segundos mensajeros AMPc y GMPC (12). La prostaglandina E, por su parte, favorece la actividad osteoclástica y osteoblástica (13,14). Los leucocitos producen y liberan células inflamatorias que dan lugar a las citocinas, que a su vez, liberan interleuquinas, las cuales van a interactuar con los receptores de las células implicadas en el proceso de remodelado como los osteoblastos (1,14).

Lado de presión

La resorción del hueso alveolar ocurre en el lado hacia el cual el diente se está moviendo, mientras que, al mismo tiempo, se reconstruye el soporte periodontal. Durante el movimiento dentario fisiológico se observa, a nivel microscópico, la presencia de osteoclastos residentes en lagunas reabsorptivas esparcidas en la pared ósea alveolar, indicando resorción activa. Después de un tiempo, la resorción cesa y las lagunas de Howship son ocupadas por osteoblastos, que forman el hueso donde quedan incluidas nuevas fibras periodontales (12). Este mecanismo de inserción fibrilar se realiza tanto en la pared de hueso alveolar como en el cemento radicular, siempre que la inserción de fibras haya sido interrumpida^{15,16}. Simultáneamente, la resorción ósea activa se inicia en nuevas ubicaciones. La pared alveolar se retrae entonces, por aparición de zonas alternantes de resorción y reparación (17).

Cuando hablamos del movimiento dentario durante el tratamiento de ortodoncia, debemos hacer referencia a la intensidad de la fuerza aplicada. Las fuerzas ortodóncicas adecuadas que van a lograr la movilización, sin alterar la estructura dentaria o las circundantes, se encuentran dentro de un rango relativamente pequeño (18). La transmisión de estímulos que produce el inicio de la actividad celular ha tratado de ser explicado en las teorías mencionadas anteriormente. El primer amortiguador de la fuerza externa es la presión hidráulica de los líquidos del espacio periodontal, constituidos por la corriente sanguínea y el material conectivo de relleno. El impacto se transmite uniformemente a todo el espacio periodontal y provoca un escape de líquido hacia el exterior a través del sistema circulatorio. Una vez superada la amortiguación hidráulica, es la barrera fibrilar la que se opone al desplazamiento dentario y, si la fuerza vence la resistencia de las fibras colágenas, entonces, se dará lugar al remodelado óseo para permitir la movilización del diente. Si la intensidad es ligera y no llega a bloquear totalmente la irrigación de la zona se iniciará una actividad osteoclástica, que destruirá y reabsorberá la pared ósea alveolar que se enfrenta al desplazamiento dentario: es la resorción ósea directa del lado de presión. Al disminuir el riego sanguíneo durante varios días se inicia el proceso de resorción. El hueso del lado de presión se reabsorbe por actividad de células progenitoras, diferenciadas a osteoclastos gracias a la mediación química del AMPc (19), que destruyen paulatinamente la lámina ósea; libre de resistencia que se le oponga, la raíz dentaria se desplaza en el sentido de la fuerza. Estudios de cinética celular indican la existencia de dos tipos de células osteoclásticas al aplicar una fuerza ligera: un primer grupo proveniente de una población celular local y, un segundo grupo, de mayor magnitud, procedente de zonas distantes y

llevadas al lugar por medio del flujo sanguíneo. El ancho del ligamento periodonal aumenta considerablemente para dar lugar a la alta actividad proliferativa celular y vascular (1). Al generarse este espacio, aumenta la irrigación sanguínea y se facilita el acceso de los osteoclastos pertenecientes al segundo grupo. Las células ósteo y fibroblásticas proceden de células locales. El remodelado óseo no sólo ocurre en el espacio de la lámina dura de la cresta alveolar. Éste proceso se realiza igualmente en los espacios medulares y bajo el periostio en las superficies externas de los maxilares, a fin de mantener constante la estructura y grosor del hueso alveolar, por lo que podemos afirmar que el diente no se mueve sólo a través del hueso, sino que todo el hueso se mueve y se adapta al movimiento (12).

A medida que ocurre el remodelado óseo, las células del componente fibroso del ligamento son igualmente remodeladas. Sin embargo, la unión del cemento con el hueso radicular que proporciona fijación al diente debe mantenerse por medio de la reconstrucción del sistema fibrilar. Sicher (20) describió un plexo intermedio periodontal que permite la movilización dentaria sin perder la fijación con el hueso. Éste plexo sería el resultado de la dicotomización de las fibras ancladas en el hueso y las fibras ancladas en el cemento en su parte media, permitiendo que se produzca el desgarramiento y la re inserción con rapidez. Sicher demostró, en un principio, la existencia de este plexo en animales de erupción limitada y en el hombre (20). Esta justificación fue muy debatida hasta que se comprobó en estudios autorradiográficos (21) que existe más formación de colágeno en el lado medio y óseo del espesor periodontal, así como a nivel de la zona apical y marginal con respecto a la zona media de la estructura. El colágeno recién formado o inmaduro, se distingue por ser neutro o soluble en ácidos y poseer menos hidrogeniones que estabilicen las uniones inter e intramoleculares, al contrario del colágeno maduro (1). De esta forma, se podría confirmar la existencia del plexo intermedio denominado por Sicher, sin embargo, se prefiere hablar de una zona de coordinación para denominar esta área de haces más jóvenes, que permite el entrelazamiento del colágeno en el movimiento ortodóncico. Las fibras periodontales se reconstruyen a merced de la actividad proliferativa de los fibroblastos, que facilitan la unión de los haces dentales con los procedentes del hueso alveolar, explicando la capacidad del diente para reinsertarse en el hueso (1). En pacientes adultos, el colágeno maduro posee mayores concentraciones de hidrogeniones, lo que lo hace más estable, justificando la dificultad de provocar ciertos movimientos y la tendencia a la recidiva. Igualmente determinante en el movimiento ortodóncico en adultos es la conformación de las paredes óseas, las cuales se presentan densas y con pocos espacios medulares, dificultando el acceso de las células para producir la resorción (22). Las áreas alveolares mesiales y distales son más esponjosas y vascularizadas que las vestibulares y linguales, favoreciendo el movimiento en una dirección mesial o distal más que hacia vestibular o lingual (23).

Lado de tensión

En el lado opuesto a la dirección en la que el diente se está moviendo ocurre la aposición de hueso, a la vez que se produce una nueva inserción de las fibras periodontales. Las fibras preexistentes en el ligamento quedan incluidas pasivamente por el frente de avance óseo, así como las fibras segregadas al momento por fibroblastos que migran del hueso, constituyendo nuevas fibras de Sharpey. Por medio de la aposición de capas óseas simultáneas al movimiento dentario, se mantiene constante el espesor del ligamento periodontal (0,2 - 0,25mm de ancho) (12).

Durante el movimiento dentario ortodóncico se produce la formación de hueso en el lado de tensión que, al igual que el lado de presión, busca mantener estable el grosor del ligamento periodontal. Los procesos que se realizan en esta localización son más estereotipados. Al producirse la tensión en el ligamento periodontal no ocurre interrupción del riego sanguíneo, lo cual favorece la proliferación y diferenciación celular, bastante notable uno o dos días después de haber aplicado la fuerza. La tensión originada por la fuerza produce una tensión ligamentosa, como consecuencia de la tracción que sufren las fibras colágenas al separarse del hueso. Esto activa la función osteoblástica y se sintetiza un tejido osteoide, poco reabsorbible. Al cesar la acción de la fuerza, el diente intenta volver a su posición inicial, pero se encuentra imposibilitado por la presencia de tejido osteoide que no se reabsorbe. Luego, ocurre la calcificación del tejido por depósito de sales minerales y la matriz osteoide se transforma en hueso. Por último se lleva a cabo la reconstrucción del tejido fibrilar, manteniendo entonces la fijación del diente al

hueso. Con el movimiento dentario, las fibras del lado óseo se convertirán en fibras de la matriz colágena del nuevo hueso, las fibras intermedias pasarán a ser las fibras del lado óseo y las fibras periodontales neoformadas por la actividad proliferativa del fibroblasto darán lugar al plexo que une las fibras de ambos lados (1).

Al igual que en el lado de presión, la regeneración en el lado de tensión en tratamientos de ortodoncia realizados en adultos, se produce con más lentitud que en pacientes jóvenes ya que la actividad osteoblástica se encuentra disminuida y la proliferación celular es más tardía ocasionando mayor movilidad y un desplazamiento más lento (1).

En investigaciones recientes (24), se ha estudiado la intervención de los restos epiteliales de Malassez (REM) durante la movilización dentaria ortodóncica. Los REM son remanentes de la vaina epitelial radicular de Hertwig que, después de su fragmentación, pasan a formar parte del ligamento periodontal²⁵. Algunas de sus células son incorporadas al cemento y otras permanecen cercanas a la superficie radicular (26). Las funciones de los REM habían sido asociadas únicamente con la aparición de quistes, sin embargo, se ha demostrado que al ser estimuladas por medio del estrés mecánico que se produce en el ligamento durante el tratamiento, aumentan de tamaño y de número, además de intervenir significativamente en el metabolismo y remodelación del ligamento periodontal (24,27).

CONCLUSION

La presente revisión bibliográfica fue realizada con la finalidad de ofrecer al lector de forma resumida y secuencial los procesos periodontales que involucra la movilización dentaria mediante el tratamiento de ortodoncia.

El entendimiento de la fisiología del movimiento dental requiere del estudio de las reacciones moleculares y celulares de manera engranada, correlacionando los acontecimientos que se suceden y evitando verlos de forma aislada. Es así como podemos comprender el funcionamiento armonioso del organismo y detectar inconsistencias o aspectos desconocidos en los procesos, propiciando la investigación requerida para esclarecerlos.

Con relación a la respuesta celular obtenida durante el tratamiento de ortodoncia, se han expuesto teorías que han demostrado ser consistentes. Sin embargo, la activación celular que se obtiene como respuesta de la intervención de mediadores químicos y potenciales eléctricos aún está en proceso de esclarecimiento. No obstante, las teorías o hipótesis planteadas no se descartan ni se anulan entre sí.

BIBLIOGRAFÍA

1. Canut, J.: Ortodoncia Clínica. Barcelona, Salvat; 1992.
2. Guercio, E.: Biología del Movimiento Dentario Ortodóncico. 2001, obtenible en Acta Odontológica Venezolana:
http://www.actaodontologica.com/ediciones/2001/1/biologia_movimiento_dentario.asp
[consulta: 28 octubre 2008]
3. Proffit, W.: Ortodoncia. Teoría y Práctica. Segunda Edición. Madrid, Mosby-Doyma Libros; 1994.
4. Bien, S.: Fluid dynamic mechanisms which regulate tooth movement. Arch Oral Biol 1966; 2: 173-201.
5. Hu, Y., Gao, Y., Singamaneni, S., Tsukruk, VV., Wang, ZL. Converse Piezoelectric Effect Induced

- Transverse Deflection of a Free-Standing ZnO Microbelt. *Nano Lett* 2009 Jun; 11.
6. Moon, J., Choi, B., Lee, W., An, K., Sohn, D. Reconstruction of atrophic anterior mandible using piezoelectric sandwich osteotomy: a case report. *Implant Dent* 2009 Jun; 18(3):195-202.
 7. Davidovitch, Z.: Electric currents, bone remodeling and orthodontic tooth movement. *Am J Orthod* 1980; 77: 14-21.
 8. Freidenberg, Z., Andrews, E., Smolenski, B.: Bone reaction to varying amounts of direct current. *Surg Gynecol Obstet* 1970; 131: 894.
 9. Goldhaber, P.: The effect of hyperoxia on bone resorption in tissue culture. *Arch Pathol* 1958; 66: 634-641.
 10. Kvinnsland, I., Kvinnsland, S.: Changes in CGRP-immunoreactive nerve fibers during experimental tooth movement in rats. *Eur J Orthod* 1990; 12: 320.
 11. Yamaguchi, M. RANK/RANKL/OPG during orthodontic tooth movement. *Orthod Craniofac Res* 2009 May; 12(2): 113-9.
 12. Moyers, R.: *Manual de Ortodoncia*. 4ta Edición, Buenos Aires, Edit. Médica Panamericana; 1992.
 13. Yamasaki, K., Shibata, Y., Fukuhara, T.: The effects of prostaglandins on experimental tooth movement in monkeys. *J Dent Res* 1982; 61: 1444.
 14. Yamasaki, K., Miura, F., Suda, T.: Prostaglandin as a mediator of bone resorption induced by experimental tooth movement in rats. *J Dent Res* 1989; 59: 1635-1640.
 15. Rygh, P.: Ultrastructural changes of the periodontal fibers and their attachment in rat molar periodontum incident to orthodontic tooth movement. *Scand J Dent Res* 1973; 82: 57-281.
 16. Rygh, P.: Elimination of hyalinized movement. *Scand J Dent Res* 1974; 82: 57-281.
 17. Kurihara, S. Enlow, D.: An electron microscopic study of attachments between periodontal fibers and bone during alveolar remodeling. *Am J Orthod* 1980; 77: 5116.
 18. Noda, K., Nakamura, Y., Kogure, K., Nomura, Y. Morphological changes in the rat periodontal ligament and its vascularity after experimental tooth movement using superelastic forces. *Eur J Orthod* 2009 Feb; 31(1): 37-45.
 19. Davidovitch, Z.: Electric currents bone remodeling and orthodontic bone movement. Part II. *Am J Orthod* 1980; 77: 33.
 20. Sicher, H.: Changing concepts of the supporting dental structures. *Oral Surg Oral Pathol* 1959; 12: 31-35.
 21. Carneiro, J., Moraes, F.: Radioautographic visualization of collagen metabolism in the periodontal tissues of the mouse. *Arch Oral Biol* 1965; 10: 833-845.
 22. Reitan, K.: Effects on force magnitude and direction of tooth movement on different alveolar bone types. *Angle Orthod* 1964; 34: 244-249.

23. Reitan, K.: Orthodontics. Current principles and techniques. San Luis, Edit Mosby 1985.
24. Talic, N., Evans, C., Daniel, J., Zaki, M.: Proliferation of epithelial rests of Malassez during experimental tooth movement. Am J Orthod 2003; 123: 527-532.
25. Becktor, K., Nolting, D., Becktor, J., Kjaer, I. Immunohistochemical localization of epithelial rests of Malassez in human periodontal membrane. Eur J Orthod 2007 Aug; 29(4): 350-3. Epub 2007 Jul 2.
26. Spouge, J.: The rests of Malassez and chronic marginal periodontitis. J Clin Periodontol 1984; 11: 340-347.
27. Kjaer, I., Nolting, D. The human periodontal membrane: focusing on the spatial interrelation between the epithelial layer of Malassez, fibers, and innervation. Act Odontol Scand 2009; 67(3): 134-8.