



**Universidad
Andrés Bello®**

UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO

Facultad de Odontología
Departamento de Ortodoncia y Ortopedia Dentomaxilar

**EFFECTO DE LAS MICRO-OSTEOPERFORACIONES
EN EL MOVIMIENTO DENTARIO ORTODÓNCICO
EN RATAS ADULTAS**

Tesis de pregrado para optar al título de Cirujano-Dentista

Autores: Juan José Rakela Tapia, Enrique Alejandro Ropert Blanco
Tutoras: Dra. Paula Vargas Del Valle, Dra. Pamela Córdova Obreque

Santiago de Chile, 2017.

Dedicado a mis hermanas y padres amados, que estuvieron conmigo en todo momento. Eternamente agradecido por su incondicional apoyo y comprensión. A mis abuelos que no estuvieron de forma terrenal en el proceso, pero si en mi corazón con cada oración.

Juan José Rakela Tapia

*Dedicado a Max e Irania, mis padres, quienes me apoyaron en este largo proceso y guiaron mi camino.
A mi Abuelo, mi luz, mi guía.*

Enrique Ropert Blanco

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Paula Vargas, por acogernos y ayudarnos en nuestra investigación a lo largo del año, por su paciencia y apoyo.

A la Dra. Pamela Córdova, por su simpatía, preocupación y comprensión.

A la Dra. Dafna Benadof, por recibirnos en cada momento y ayudarnos, por brindarnos de su tiempo, de su apoyo, y por sobre todo incentivarlos con su amor a la investigación.

A América Gálvez, por dedicar su tiempo en ayudarme y levantarme el ánimo siempre, por ser una excelente compañía y un pilar fundamental en mi proceso académico, por ser mi inspiración personal para seguir adelante.

Tabla de contenidos

I.	RESUMEN	6
II.	INTRODUCCIÓN	8
III.	MARCO TEÓRICO	10
-	MOVIMIENTO DENTARIO ORTODÓNCICO	10
-	BIOLOGÍA DEL MDO Y REMODELACIÓN ÓSEA	12
-	CAMBIOS EN LOS TEJIDOS Y EN LAS CÉLULAS DURANTE EL MDO.....	14
-	EFFECTOS ADVERSOS AL TRATAMIENTO ORTODÓNCICO	15
-	MECANISMOS PARA ACELERAR EL MDO	18
-	MICRO-OSTEOPERFORACIONES	22
-	ANATOMÍA Y FISIOLÓGÍA EN RATAS	24
IV.	HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	26
V.	MATERIALES Y METODOS	27
VI.	RESULTADOS	31
VII.	DISCUSIÓN	35
VIII.	CONCLUSIONES	39
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
X.	ANEXOS.....	44

Índice de tablas y gráficos

Tabla 1: Comparación del MDO.....	32
Tabla 2: Velocidad del MDO.....	33
Gráfico 1: Velocidad del MDO.....	34

Índice de figuras

Figura 1: Esquema del MDO.....	11
Figura 2: Rata aclimatada.....	27
Figura 3: Diseño del aparato ortodóncico.....	27
Figura 4: Diseño de MOP.....	28
Figura 5: Instalación de la aparatología ortodóncica.....	29

I. RESUMEN

Objetivo: Determinar el efecto de MOPs en la aceleración del movimiento dentario ortodóncico en ratas adultas.

Materiales y Métodos: Un total de 16 ratas Sprague-Dawley machos adultas de 32 semanas de edad fueron analizados en esta investigación. En cada rata se instalaron aparatos ortodóncicos en el maxilar superior. La fuerza se aplicó por medio de un coil de Nitilol ubicado entre el 1º molar superior e incisivo central superior, utilizando una fuerza de 25 gr. El lado izquierdo fue sometido a MDO + MOPs, la cual fue analizada y comparada con el lado derecho, que fue sometido solo a MDO. Las 16 ratas fueron agrupadas según día de experimentación en días 7, 14, 21 y 28.

Resultados: El lado MOP fue el que tuvo mayor movimiento y velocidad las primeras dos semanas, pero a partir del día 21 el lado experimental tuvo una desaceleración, mientras que el lado control tuvo mayor movimiento y velocidad. Ninguno de los cambios fue estadísticamente significativo.

Conclusiones: El tratamiento de MOPs es capaz de aumentar la velocidad del MDO en ratas adultas en las tres primeras semanas de aplicar el estímulo, pero no es estadísticamente significativo en períodos cortos de tiempo. Se hace necesaria la intervención periódica de perforaciones para reactivar el Fenómeno Aceleratorio Regional.

SUMMARY

Objective: To determine the effect of MOPs on the acceleration of orthodontic tooth movement in adult rats.

Materials and Methods: A total of 16 Adult Sprague-Dawley rats of 32 weeks of age were analyzed in this investigation. In each rat orthodontic appliances were installed in the upper jaw. The force was applied by means of a coil of Nitinol located between the upper 1 molar and upper central incisor, using a force of 25 gr. The left side was subjected to ODM + MOPs, which was analyzed and compared with the right side, which was only subjected to ODM. The 16 rats were grouped according to day of experimentation on days 7, 14, 21 and 28.

Results: The MOP side was the one that had the most movement and speed during the first two weeks, but from day 21 the experimental side had a deceleration, while the control side had more movement and speed. None of the changes was statistically significant.

Conclusions: The treatment of MOPs is able to increase the speed of the ODM in adult rats in the first two weeks of applying the stimulus, but it is not statistically significant in short periods of time. Periodic intervention of perforations is necessary to reactivate the Regional Accelerator Phenomenon.

Key words: Orthodontic tooth movement, Acceleration of ODM, Micro-osteoperforations, Rats.

II. INTRODUCCIÓN

La ortodoncia es una rama de la odontología que busca mejorar la estética y corregir la función masticatoria a través del movimiento dentario ortodóncico (MDO), logrado con la aplicación de una fuerza física externa ^[1]. El MDO depende del modelado y remodelado de los tejidos que rodean las raíces dentarias, controlado por la actividad celular de osteoclastos, osteoblastos y osteocitos, dando como resultado cambios en la forma, tamaño y posición del hueso, influenciando así, la velocidad del movimiento del diente ^[2].

El tratamiento ortodóncico es un proceso largo, que puede durar varios años, pudiendo causar problemas secundarios dependientes del tiempo, sobretodo en adultos, ya que el envejecimiento disminuye la reacción inicial del estímulo ortodóncico y posterior movimiento dental, alargando de esta manera el tiempo de tratamiento ^[3] y produciendo mayores complicaciones al paciente.

Varios son los métodos que se han investigado para acortar el tiempo de tratamiento, muchos han demostrado éxito en el aceleramiento del movimiento dentario, pero con efectos secundarios negativos, como dolor, equimosis y reducción de hueso alveolar ^[7].

Se ha buscado acelerar el MDO a través de diferentes maneras, métodos como la Corticotomía, Corticisión y Piezocisión son procedimientos que se han estudiado y probado en pacientes. En el presente estudio, analizaremos el efecto de las MOPs en el movimiento dentario ortodóncico ^[7].

Las MOPs nos aportan una alternativa menos invasiva que mantiene la integridad y arquitectura de los tejidos duros y blandos ^[4]. Corresponde a un nuevo procedimiento clínico ortodóncico que se ha probado en animales y humanos. Consiste en realizar pequeñas perforaciones de profundidad variable a nivel de la encía en relación al diente que se quiere mover con mayor rapidez ^[4,8], amplificando

la expresión de los marcadores inflamatorios, como las citocinas pro-inflamatorias, que juegan un papel importante en el reclutamiento de osteoclastos y la aceleración de la remodelación ósea ^[5], acortando el tiempo de tratamiento sin molestias adicionales para los pacientes ^[4].

Existen pocas investigaciones que demuestren la eficacia de la aplicación de MOPs en animales, sobretodo en seres humanos, por lo que aún se necesitan estudios que permitan comprobar que las MOPs posibiliten, efectivamente, acelerar el MDO, reduciendo la incidencia de efectos secundarios no deseados durante procedimientos clínicos aplicados en humanos.

El objetivo de esta investigación es determinar el efecto de MOPs en la aceleración del movimiento dentario ortodóncico en ratas adultas.

III. MARCO TEÓRICO

MOVIMIENTO DENTARIO ORTODÓNCICO

El movimiento dentario ortodóncico (MDO) es un proceso biológico caracterizado por la remodelación del hueso alveolar y del ligamento periodontal en respuesta a una fuerza ortodóncica que promoverá amplios cambios celulares y moleculares en el periodonto ^[1], para mejorar la función y la estética de las maloclusiones dentales ^[2].

El MDO es logrado a través de una serie de eventos biológicos, tales como el modelado y remodelado del hueso alveolar, el ligamento periodontal, la vascularización y eventos neurales, todo bajo el estímulo de las fuerzas ortodóncicas. Así como hay factores mecánicos, también están los bioquímicos, donde las prostaglandinas y citocinas juegan un rol importante en la actividad de las células óseas (osteoclastos, osteoblastos y osteocitos) ^[3], dando como resultado cambios en la forma, tamaño y posición del hueso, influenciando así, la velocidad del movimiento del diente ^[4,9].

El MDO consiste en tres fases:

- **Fase inicial o primaria:** se caracteriza por un movimiento dentario rápido, ocurre 24 a 48 hrs. después de la aplicación de la primera fuerza que se emplea al diente, donde hay desplazamiento del diente en el espacio del ligamento periodontal.
- **Fase de retardo:** su duración es de 20 a 30 días, hay poco o nulo desplazamiento dentario. Esta fase está marcada por hialinización del ligamento periodontal en el lado de compresión, no se produce ningún movimiento del diente hasta que las células eliminen todos los tejidos necróticos, ya que en la zona hialinizada no existe diferenciación de osteoclastos y por lo tanto no puede ocurrir reabsorción ósea. Esta fase se

encuentra determinada por la edad del paciente, la densidad ósea y la extensión de las áreas hialinizadas.

- **Fase de movimiento progresivo o secundaria:** se inicia cuando se ha eliminado totalmente el tejido hialinizado. En esta fase la velocidad del movimiento del diente aumenta ^[9].

Cuando se aplican fuerzas ortodóncicas continuas, los dientes se mueven de 0,8 a 1,2 mm por mes aproximadamente en humanos ^[1].

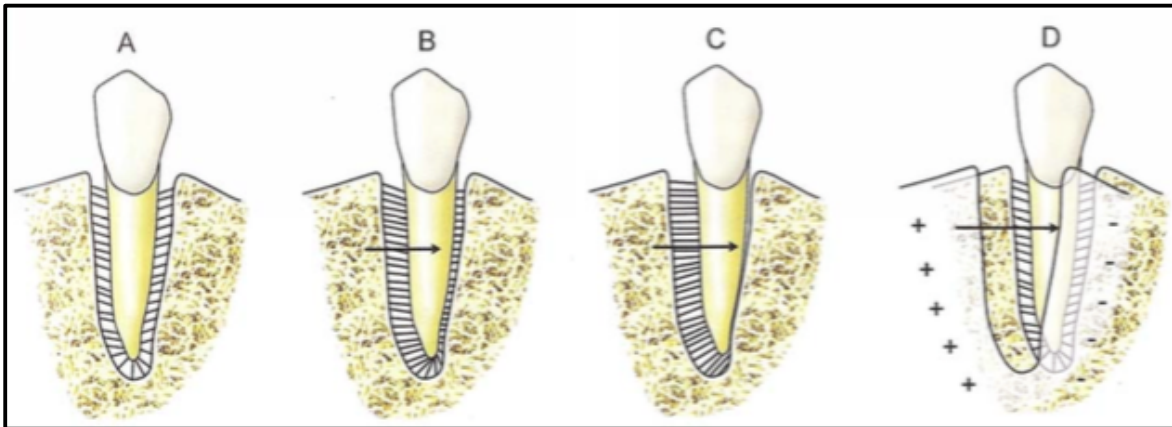


Fig. 1. Esquema de la secuencia de eventos del MDO. **A.** Diente en reposo. **B.** Ligeramente desplazamiento del diente dentro de su alvéolo por la fuerza ortodóncica aplicada. **C.** La fuerza ortodóncica ligera y constante provoca compresión de las fibras periodontales en el lado de presión y distensión de éstas en el lado de tensión. **D.** Las reacciones tisulares provocan la remodelación ósea del alvéolo (reabsorción en el lado de presión y aposición en el lado de tensión) y a consecuencia el movimiento dentario ortodóncico. [Vellini, 2004]

BIOLOGÍA DEL MDO Y REMODELACIÓN ÓSEA

Los procesos de remodelación ósea comienzan cuando se aplica una fuerza ortodóncica sobre el periodonto, generando una respuesta inflamatoria aséptica, alterando de esta manera la homeostasis y la microcirculación en el ligamento periodontal, creando áreas de isquemia y vasodilatación, liberando citocinas, quimiocinas, factores de crecimiento, neurotransmisores, metabolitos del ácido araquidónico y hormonas, las cuales desencadenarán respuestas celulares que promoverán la reabsorción ósea dada por los osteoclastos en las zonas de presión, y la formación de hueso por osteoblastos en la zona de tensión ^[1,5].

Los osteoclastos son células multinucleadas que derivan de células hematopoyéticas, juegan un papel importante en la reabsorción ósea de manera fisiológica, en la homeostasis del calcio, en la erupción dentaria y en el MDO. Las células precursoras se unen entre sí por la acción de citocinas pro-inflamatorias, tales como el factor estimulante de colonias de monocitos (M-CSF), Interleuquina 1b (IL-1b) y 6, y Factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α), principalmente, formando una célula multinucleada precursora de osteoclasto, las cuales en su superficie expresarán una molécula receptora llamada RANK (receptor activador del factor nuclear kappa-B), que interactuará con su ligando RANK-L (ligando del receptor activador del factor nuclear kappa-B), molécula que se encuentra en la superficie de los osteoblastos, de células del estroma y de Linfocitos T, provocando de esta manera la diferenciación y maduración de los osteoclastos, los que comenzarán la reabsorción en el hueso ^[1,6].

La osteoclastogénesis comienza con la división de células madres y proliferación de los precursores de células de osteoclastos en los tejidos hematopoyéticos (médula ósea, bazo, hígado y sangre periférica). Estas células comienzan a migrar a los sitios de reabsorción ósea donde serán diferenciadas y activadas. Los osteoclastos maduros comenzarán a adherirse a la superficie ósea por una zona de sellado, en la cual se expresan bombas de protones y canales de cloro, que son importantes

para la acidificación extracelular y la desmineralización del hueso, luego se produce la liberación de enzimas proteolíticas, las cuales comenzarán a degradar proteínas de la matriz extracelular ^[1].

Los osteoblastos, por el contrario, son células de origen mesenquimático, cuyo propósito es sintetizar matriz ósea, y se encontrarán en mayor parte en la zona de tensión durante la aplicación de una fuerza ortodóncica. Las células mesenquimales se diferenciarán en células osteoprogenitoras gracias a factores de transcripción, ubicándose en la superficie ósea y en la capa interna del periostio y endostio, los cuales finalmente se diferenciarán en osteoblastos a través de la acción de factores de crecimiento, y comenzarán a sintetizar hueso ^[4]. Estos osteoblastos son capaces de sintetizar una proteína llamada Osteoprotegerina (OPG), la cual funciona como un receptor falso uniéndose a RANK-L, inhibiendo la formación de los osteoclastos y por ende la reabsorción ósea, deteniendo de esta manera la función osteoclástica para comenzar la regeneración ósea ^[4,10]. Parte de los osteoblastos pueden diferenciarse para formar a los osteocitos, que son células maduras del hueso más pequeñas que los osteoblastos, se encuentran delimitados por espacios denominados lagunas. Los osteocitos se comunican con otros a través de proyecciones citoplasmáticas, y cuando estas células perciben una fuerza mecánica, estas vías de señalización conducirán cambios en el nivel de producción de factores bioquímicos en los osteoclastos y osteoblastos, regulando de esta manera la remodelación ósea ^[4].

CAMBIOS EN LOS TEJIDOS Y EN LAS CÉLULAS DURANTE EL MDO

Al aplicar una fuerza ortodóncica, el tejido periodontal puede dividirse en dos regiones principales: región de compresión y región de tensión ^[9].

Región de compresión:

En esta zona la dirección del movimiento dental es la misma hacia donde se aplica la fuerza. La compresión produce deformación de los vasos sanguíneos y desorden de los tejidos que rodean al diente, las células que se adaptan a estos cambios metabólicos seguirán viviendo, mientras que las que no se adaptan en esta condición de isquemia morirán y producirán lisis celular, liberando todo su contenido al medio causando activación de los procesos inflamatorios locales ^[9].

La hialinización es una necrosis aséptica en donde desaparece la organización fibrilar y cesa toda actividad celular producto de la pérdida de aporte sanguíneo a la zona, se observa como áreas libres de células del ligamento periodontal. Posteriormente, macrófagos actúan sobre el tejido hialinizado y comienzan a eliminarlo, dando lugar a la reabsorción, facilitada por la actividad osteoclástica ^[9].

Región de tensión:

En esta zona se forma hueso nuevo como resultado de las fuerzas aplicadas durante el tratamiento ortodóncico. Los osteoblastos se diferencian de las células precursoras locales de origen mesenquimático ^[4,9] y se activan, dando lugar a la formación y mineralización ósea.

EFFECTOS ADVERSOS AL TRATAMIENTO ORTODÓNCICO

El tratamiento ortodóncico convencional es un proceso largo que puede oscilar entre 21-35 meses como promedio, pudiendo provocar efectos secundarios tales como caries dental, descalcificación dentaria, enfermedad periodontal e inflamación gingival, y reabsorción radicular ^[1].

El éxito del tratamiento ortodóncico está influenciado por una serie de factores, incluyendo la salud periodontal, la higiene oral y las fuerzas ortodóncicas. Algunos han buscado desarrollar nuevos métodos para acelerar el MDO para acortar los tiempos de tratamiento con el fin de reducir los efectos adversos ^[9].

Dentro de las complicaciones más frecuentes que pueden presentarse durante el tratamiento de ortodoncia están:

Caries y descalcificación dental:

La organización mundial de la salud (OMS) ha definido la Caries dental como un proceso localizado de origen multifactorial que inicia después de la erupción dentaria, determinando el reblandecimiento del tejido duro del diente y que evoluciona hasta la formación de una cavidad. Es una de las enfermedades más prevalentes de la población mundial. La presencia de microorganismos, asociados a la placa dental, son capaces de producir ácidos, los cuales descalcifican la estructura dentaria para comenzar este proceso ^[11].

Los pacientes que utilizan aparatología ortodóncica presentan dificultad para mantener una buena higiene oral, por lo que es común encontrar acumulación de placa bacteriana alrededor de los brackets y por debajo de las bandas ortodóncicas, aumentando la incidencia de lesiones cariosas en relación a la ubicación de la aparatología ^[12].

El desarrollo de lesiones en las superficies de los dientes anteriores y posteriores representa un efecto secundario que puede contrarrestar el resultado beneficioso del tratamiento ortodóncico ^[12].

Enfermedad periodontal y gingivitis:

Las complicaciones periodontales son también uno de los efectos secundarios más comunes relacionados con el tratamiento ortodóncico, especialmente en adultos. De estas complicaciones asociadas a la terapia ortodóncica se incluyen principalmente gingivitis, periodontitis, recesión gingival, hipertrofia gingival, pérdida ósea alveolar, dehiscencias, fenestraciones, pliegues interdentes y triángulos oscuros ^[13].

La presencia de placa bacteriana es el factor más importante en la iniciación, progresión y recurrencia de la enfermedad periodontal y gingivitis, ya que los brackets y elásticos usados en el tratamiento ortodóncico pueden interferir con la eliminación efectiva de la placa dental. La presencia de bandas a nivel molar favorecen el alojamiento de alimentos y bacterias, afectando el equilibrio de la microflora oral. Otros factores capaces de afectar la salud periodontal durante el tratamiento ortodóncico del paciente es su condición periodontal pasada, la susceptibilidad aumentada y la pobre higiene oral ^[13].

La salud periodontal es esencial para cualquier forma de tratamiento dental. Los pacientes adultos deben someterse a una instrucción regular de higiene oral y mantenimiento periodontal con el fin de mantener el tejido gingival sano durante el tratamiento ortodóncico ^[13].

El tratamiento ortodóncico suele estar contraindicado en pacientes con enfermedad periodontal activa, ya que en este caso la probabilidad de un mayor deterioro periodontal es alta ^[13].

Reabsorción radicular:

La reabsorción radicular es la destrucción de cemento y/o dentina radicular producida por la actividad osteoclástica, resultando en el acortamiento de la raíz del diente ^[13].

La reabsorción radicular se considera como una consecuencia indeseable, pero es inevitable durante el tratamiento, pudiendo provocar movilidad o pérdida permanente de las piezas dentarias. Existe un proceso inflamatorio que resulta en una necrosis isquémica en el ligamento periodontal producido por los efectos de factores mecánicos durante el tratamiento de ortodoncia, combinado con la variabilidad biológica individual y la predisposición genética del paciente ^[13].

La pérdida de la estructura apical radicular no es predecible, pero cuando progresa a la destrucción de la dentina, se considera un proceso irreversible ^[13].

La duración del tratamiento es un factor muy importante para los pacientes, sobretodo en adultos, quienes buscan cada vez más este tipo de terapia, sin embargo, éstos requieren más tiempo de tratamiento debido a que poseen un metabolismo óseo más lento que el de los pacientes jóvenes, por lo que el riesgo de presentar efectos adversos se ve aumentado ^[1].

MECANISMOS PARA ACELERAR EL MDO

Uno de los objetivos dentro del tratamiento ortodóncico ha sido acelerar el movimiento dentario por sus múltiples beneficios potenciales, como por ejemplo, una duración de tratamiento más corta, efectos secundarios reducidos y una mejor estabilidad post tratamiento ^[4]. En adultos, los efectos secundarios producidos por un largo tratamiento pueden aumentar, ya que el envejecimiento disminuye la reacción inicial del estímulo ortodóncico y posterior movimiento dental ^[14].

Se ha buscado acelerar el MDO a través de diferentes maneras, como métodos quirúrgicos y no quirúrgicos. Dentro de los métodos quirúrgicos está la osteotomía que consiste en cortar completamente la corteza y médula del hueso alveolar para reducir la resistencia mecánica durante el movimiento del diente ^[4], después fue reemplazado por la corticotomía, procedimiento menos invasivo ya que solo se realizan cortes poco profundos a nivel del hueso alveolar cortical, sin tocar el hueso esponjoso ^[7].

Existen otras técnicas menos invasivas y no quirúrgicos ^[4], como el uso de brackets autoligantes y de baja fricción, o el uso de microimplantes ^[15]. También mecanismos capaces de estimular la reabsorción ósea ^[4], tales como la estimulación bioquímica, mecánica o física del hueso alveolar (vibración cíclica, imanes, corriente eléctrica directa) ^[15]; y otros mecanismos aún más modernos, como la estimulación de expresión de citocinas pro-inflamatorias, la cual aumenta la tasa de remodelación ósea y movimiento de los dientes ^[6], terapia láser, ultrasonido de baja intensidad, inyecciones locales de biomoduladores, terapia génica ^[5], y microosteoperforaciones (MOPs) ^[10].

Fenomeno Aceleratorio Regional (RAP)

El RAP es una respuesta local y transitoria de tejidos duros y blandos en respuesta a un estímulo nocivo. Consiste en la aceleración del proceso de curación donde hay

un mayor recambio celular óseo y una disminución de las densidades óseas regionales ^[16]. Gracias a este fenómeno, la remodelación ósea puede llegar a ser hasta 10 veces más rápida que la fisiológica ^[17,18], acelerando de esta manera el MDO.

Esta respuesta aumentada podría tener relación directa al tamaño del estímulo quirúrgico, por lo que técnicas más invasivas como la corticotomía tendrían mayores resultados en MDO acelerado ^[19].

Las técnicas más utilizadas hoy en día, capaces de producir RAP, son la corticotomía, corticisión, piezocisión y MOP.

Corticotomía:

La corticotomía es una técnica quirúrgica que implica la elevación de un colgajo mucoperióstico de espesor total, donde al hueso cortical se le realizan cortes por vestibular y/o lingual/palatino en los espacios interradiculares circunscribiendo los dientes que queremos mover, hasta alcanzar el hueso medular, el cual permanece intacto ante la técnica ^[19,20]. Se puede ocupar fresa redonda o bisturí piezoeléctrico ^[18], extendiéndose entre 2 a 3 mm debajo la cresta ósea, con una distancia de 2 mm al ápice del diente.

En muchos procedimientos de corticotomías son necesarios injertos animales, como de hueso de bovino desproteinizado, injerto óseo liofilizado descalcificado, hueso autógeno o una combinación de estos. El uso de plasma rico en plaquetas ayuda a estabilizar el injerto óseo aplicado ^[19].

La corticotomía tiene como beneficio estimular el RAP, lo que reduciría significativamente el tiempo de tratamiento, ya que disminuye la resistencia del hueso alveolar resultando en una aceleración del MDO durante el primer mes postquirúrgico ^[1,18]. La ventaja de esta técnica es permitir al operador una excelente visibilidad de trabajo ^[17,20].

No obstante, una de las limitantes de la corticomía es el volumen de la tabla ósea, por lo que no es recomendable su uso en biotipos periodontales delgados, ya que puede causar reducción de la altura del hueso alveolar y producir dehiscencia en áreas de menor volumen ^[19,20]. Si el hueso tiene menos de 1 a 2 mm de grosor, no se recomienda el uso de esta técnica.

Cuando se realizan corticotomías, existe el riesgo de que el paciente pueda presentar hematomas subcutáneos en el área facial y del cuello durante el postoperatorio, las cuales pueden estar acompañadas de dolor, por lo que se considera una técnica bastante invasiva para acelerar el MDO ^[18].

Corticisión:

La Corticisión es un procedimiento quirúrgico complementario al tratamiento ortodóncico usado para acelerar el movimiento dentario. En esta técnica no es necesario la realización de un colgajo como en la corticotomía, por lo que la convierte en una técnica poco invasiva ^[21].

Para este procedimiento se realizan microincisiones en la encía vestibular en sentido vertical utilizando una hoja de bisturí que se emplea como un cincel delgado entre los espacios interradiculares a lo largo de la raíz, partiendo de la base de la papila. Luego, con el bisturí piezoeléctrico, se realizan corticotomías transmucosas a través de las incisiones a una profundidad de 3 mm. Posterior a esto, las fuerzas ortodóncicas deben aplicarse cada 14 días ^[21].

Un estudio realizado por Aristizábal-P JF. Et Al. en el año 2014 afirma que la corticisión logra estimular el MDO durante 28 días mediante la aceleración de la tasa de remodelación ósea alveolar, estimulando la reabsorción directa del hueso produciendo menor hialinización y mayor rapidez en la eliminación del tejido hialinizado ^[21].

En un estudio realizado por Chi-Yang Tsai et al. en el año 2016 se observó que el MDO en ratas aumentó significativamente durante 2 semanas al aplicar la corticisión, además hubo una disminución de la tasa de reabsorción radicular, demostrando buenos resultados postoperatorios gracias a su mínima intervención quirúrgica ^[8].

Estudios realizados por Dinesh MR. et Al. en el año 2015, sugiere que el RAP se produce 2 semanas después de realizar corticisión y MOPs ^[19], presentando una respuesta rápida para acelerar el MDO.

Piezocisión:

La piezocisión es un procedimiento quirúrgico mínimamente invasivo complementario al tratamiento ortodóncico que busca acelerar el MDO durante el tratamiento ^[22].

Esta técnica consiste en realizar microincisiones en sentido vertical con una microhoja de bisturí en los espacios interradiculares vestibulares del tejido blando sin incluir la papila, luego se realiza las corticotomías transmucosas a través de las incisiones previamente efectuadas con un bisturí piezoeléctrico a una profundidad de 3 mm, no es necesario suturar (a menos que se realicen túneles para la colocación de injertos óseos). Finalmente las fuerzas ortodóncicas deben aplicarse cada 14 días. Este procedimiento tiene por objetivo iniciar el RAP ^[18,19,21,22].

Esta técnica es mínimamente traumática, por lo que es poco frecuente el dolor, la inflamación y la equimosis postquirúrgica ^[18]. Además, requiere de un tiempo operatorio corto y es fácil de realizar, por lo que posee una mayor aceptación de parte del paciente y el clínico.

No obstante, tiene como desventaja la poca visibilidad que presenta, la dificultad de controlar el injerto óseo y el alto costo de obtener un bisturí piezoeléctrico ^[18].

MICRO-OSTEOPERFORACIONES

Las micro-osteoperforaciones (MOPs) son procedimientos poco invasivos que consisten en realizar pequeñas perforaciones de aproximadamente 1-2 mm de ancho y 2-3 mm de profundidad con un dispositivo portátil para realizar MOPs a nivel de la encía y cortical ósea del hueso alveolar en la zona específica donde se quiere mover el diente, bajo anestesia local, provocando una respuesta inflamatoria y cambios en el metabolismo óseo, aumentando la velocidad del movimiento dentario al ser sometido a fuerzas ortodóncicas, sin la necesidad de utilizar colgajos, injertos óseos o suturas ^[23].

Las MOPs tienen por objetivo acelerar el tratamiento ortodóncico para evitar los efectos adversos producidos por la larga duración de éste. Esta técnica se ha utilizado en estudios previos en animales y humanos para comprobar su eficacia, donde sólo se ha reportado malestar leve-moderado localizado que desaparece entre los 14 a 28 días ^[5,10,21].

El uso de MOPs durante el tratamiento ortodóncico estimulará significativamente la expresión de marcadores inflamatorios (citocinas, PGE2), incrementando el número de osteoclastos y la resorción ósea, aumentando de esta manera la velocidad y la magnitud del movimiento dentario ^[6,8,10,21], manteniendo la integridad y la arquitectura de los tejidos duros y blandos ^[10], este proceso se conoce como fenómeno aceleratorio regional (RAP), donde la regeneración tisular puede llegar a ser hasta 10 veces más rápida que la remodelación ósea fisiológica, pudiendo llegar a su peak en la segunda semana posterior a la realización de MOPs ^[18,19], sin embargo, el papel que cumplen los marcadores inflamatorios en el aumento del metabolismo óseo aún no está claro ^[6].

Según Alikhani et al., en el año 2015 [10], determinaron que el tratamiento con MOPs disminuye la reabsorción radicular apical externa (EARR) a diferencia del tratamiento ortodóncico tradicional. Una de las causas de reabsorción radicular es la presencia prolongada de osteoclastos en la zona, no el aumento del número de éstos ^[6,10], por esta razón, un tratamiento ortodóncico con MOPs sería preferible en comparación a un tratamiento tradicional, ya que disminuiría la duración total del tratamiento ^[5,10], evitando la aparición de efectos no deseados que se producen a causa del largo tiempo de tratamiento en la ortodoncia convencional.

Estudios realizados por Mani Alikhani et al. en el año 2013 y 2015 exponen investigaciones realizadas en humanos aplicando MOPs en zonas de exodoncia durante el tratamiento ortodóncico para acelerar el movimiento dental y así acortar el tratamiento, demostrando un aumento de la retracción dental de hasta 2,3 veces más en un mismo periodo de tiempo en comparación a la aplicación de fuerzas convencionales ^[10,23], sin embargo, aún hay pocos estudios que demuestran la eficacia de la aplicación de MOPs en animales y seres humanos, su significancia clínica en la aceleración del movimiento dentario y su efectividad en un corto periodo de tiempo.

ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA EN RATAS

Las alteraciones del ligamento periodontal, del hueso alveolar y la pulpa dental no pueden ser estudiadas de manera directa en humanos, por lo que los cambios producidos durante el MDO deben ser evaluados experimentalmente. La mayoría de estos estudios son realizados en animales ya que, por ejemplo, no se puede hacer una resección completa del maxilar en un humano vivo ^[24].

Las ratas son los animales más usados al momento de experimentar sobre el MDO, por lo que es importante conocer desde un principio las diferencias morfológicas y fisiológicas del ligamento periodontal, hueso alveolar y pulpa dental entre ratas y seres humanos ^[25].

Existen diferencias estructurales en la organización de las fibras periodontales y las estructuras de soporte, se debe considerar que la reparación radicular y remodelación de los tejidos, frente al MDO, suceden de manera más rápida en ratas que en un humanos, aunque la tasa metabólica de los tejidos conectivos sea diferente, los mecanismos formativos principales son los mismos ^[24,26], por lo que puede beneficiarse el estudio en humanos. En 21 días se observan las etapas del movimiento dentario inducido en humanos, en cambio en ratas éste se reduce a 7 días ^[27]. Un periodo de 6 semanas de vida en una rata corresponde a la edad circumpuberal en humanos (12-15 años de edad), y un tiempo de 40 semanas de vida corresponde a la edad adulta en humanos ^[28].

Existen, además, diferencias en las características histológicas de las ratas en comparación con la de humanos, siendo una desventaja a la hora de realizar investigaciones. En las ratas el hueso alveolar es más denso, posee menor cantidad de tejido osteoide y espacios medulares, la matriz extracelular tiene menos cantidad de ácidos mucopolisacáridos. La absorción intestinal es la principal responsable del control del balance del calcio y no el tejido óseo, como es en humanos ^[24,26].

Hay dos aspectos fisiológicos que difieren ampliamente entre las ratas y los humanos: el desplazamiento distal molar y la erupción incisiva continua. Los dientes posteriores de los humanos presentan una migración dentaria fisiológica hacia mesial, mientras que en las ratas esta migración es hacia distal, por lo que el desplazamiento distal molar puede subestimar el movimiento mesial experimental del molar. La continua erupción del incisivo de la rata puede afectar en el anclaje requerido de la aparatología ortodóncica y un deficiente control de la dirección de las fuerzas aplicadas, pudiendo afectar la interpretación de recolección de datos obtenidos durante la experimentación ^[24,29].

Las ratas son un buen modelo experimental para medir el MDO, ya que son económicas de conseguir, facilitan la toma de cortes histológicos y se puede obtener un mayor número de muestras en comparación con otros animales. Podemos encontrar la mayoría de los anticuerpos requeridos en técnicas celulares y moleculares de estudio. No obstante, las ratas utilizadas para analizar el MDO tienen la desventaja de ser muy pequeñas y de difícil manejo para instalar aparatos ortodóncicos ^[25].

Al realizar estudios con animales se debe tener en cuenta si los datos o resultados obtenidos durante la investigación son extrapolables en humanos, por lo que hay que tener conocimiento de las diferencias morfológicas, del patrón de crecimiento, de la tasa de recambio dentario y óseo y de la velocidad de respuesta de los tejidos asociados. Hay que tener en cuenta, además, que la manipulación de tejidos altera estructuras normales en los animales experimentales ^[28,29,30].

IV. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Hipótesis: La aplicación de micro-osteoperforaciones acelera significativamente la velocidad del movimiento dentario ortodóncico en ratas adultas.

Objetivo general: Determinar el efecto de micro-osteoperforaciones en la aceleración del movimiento dentario ortodóncico en ratas adultas.

Objetivos específicos:

- Comparar la magnitud del movimiento de los primeros molares en ratas adultas sometidas a fuerza ortodóncica, tanto en el grupo control como en el grupo sometido a micro-osteoperforaciones, en 1, 2, 3 y 4 semanas.
- Comparar la velocidad del movimiento de los primeros molares en ratas adultas sometidas a fuerza ortodóncica, tanto el grupo control como el grupo sometido a micro-osteoperforaciones, en 1, 2, 3 y 4 semanas.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

Éste es un estudio cuantitativo, que analiza los datos recolectados en una investigación experimental realizado en animales de laboratorio el año 2016 en la Universidad Nacional Andrés Bello, el cual fue aprobado por el comité de ética del mismo establecimiento. Parte de la información recolectada se utilizó en el presente estudio.

El estudio primario incluyó 64 ratas machos Sprague-Dawley, 32 ratas jóvenes de 12 a 14 semanas y 32 ratas adultas de 35 a 40 semanas de edad, las cuales fueron aclimatadas por una semana en cajas plásticas con ciclos de 12 horas de luz/oscuridad (Fig. 2). A todas las ratas se les instaló aparatos ortodóncicos en el maxilar superior, según diseño que muestra la Figura 3. Las ratas fueron agrupadas según día de experimentación en días 7, 14, 21 y 28 después de la inserción de los aparatos.

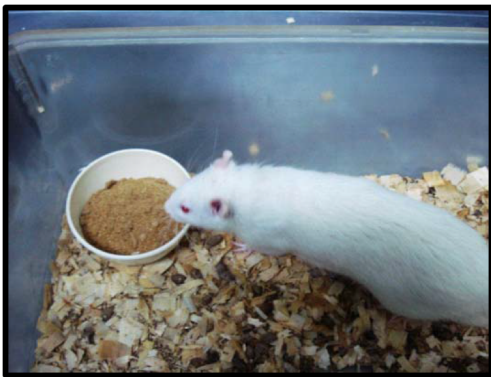


Fig. 2. Rata experimental aclimatada en caja de plástico.

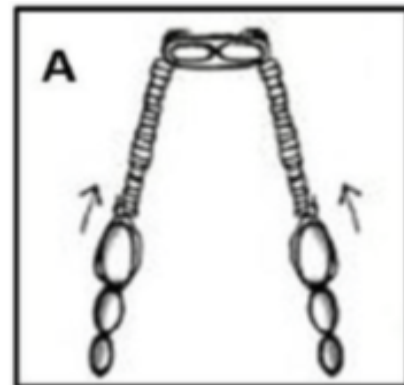


Fig. 3. Diseño del aparato ortodóncico.

En el presente estudio se utilizaron ratas adultas. De estas 32, solo se evaluaron 16, en las cuales se realizó 3 MOPs en el lado izquierdo, de 1 mm de profundidad y diámetro en la zona anterior al molar a mesializar a una distancia de 5 mm (Fig. 4), y se comparó con el lado derecho, el lado control. Para realizar estas perforaciones,

se utilizó una fresa redonda con una pieza de mano de baja velocidad, la distancia entre las MOPs fue de 1 mm.

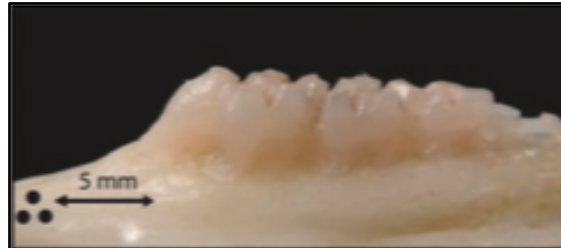


Fig. 4. Esquema que muestra 3 MOPs superficiales a 5 mm mesial al 1º molar [6].

Para poner los aparatos, las ratas fueron dormidas mediante inyección intraperitoneal de Ketamina 60 mg/kg y Xylazina Hcl 10 mg/kg según peso. La fuerza se aplicó por medio de un resorte (coil spring) de Nitinol de 5 mm de longitud y 0.006 x 0.22 mm de diámetro, ubicado entre el primer molar superior e incisivos superiores de ambas hemiarquadas, utilizando una fuerza de 25 gr. El coil se fijó a las piezas dentarias mediante una ligadura metálica de acero inoxidable de 0.010 mm de diámetro (Fig. 5A y 5C). Para obtener una buena retención de la ligadura, se talló un surco en la zona cervical del incisivo superior con un disco de carburundum, zona altamente mineralizada sin causar sensibilidad, refrigerando con suero fisiológico (Fig. 5B). Para asegurar su asentamiento, se colocó resina compuesta en ambos incisivos sobre el cierre de la ligadura (Fig. 5D). La fuerza se aplicó durante los días de experimentación de cada grupo y se midió con un dinamómetro de esfera (Dentaurum®), controlando diariamente la activación como la posición de los aparatos, para evitar su desinserción o su inactivación debido a la erupción continua de los incisivos en ratas.

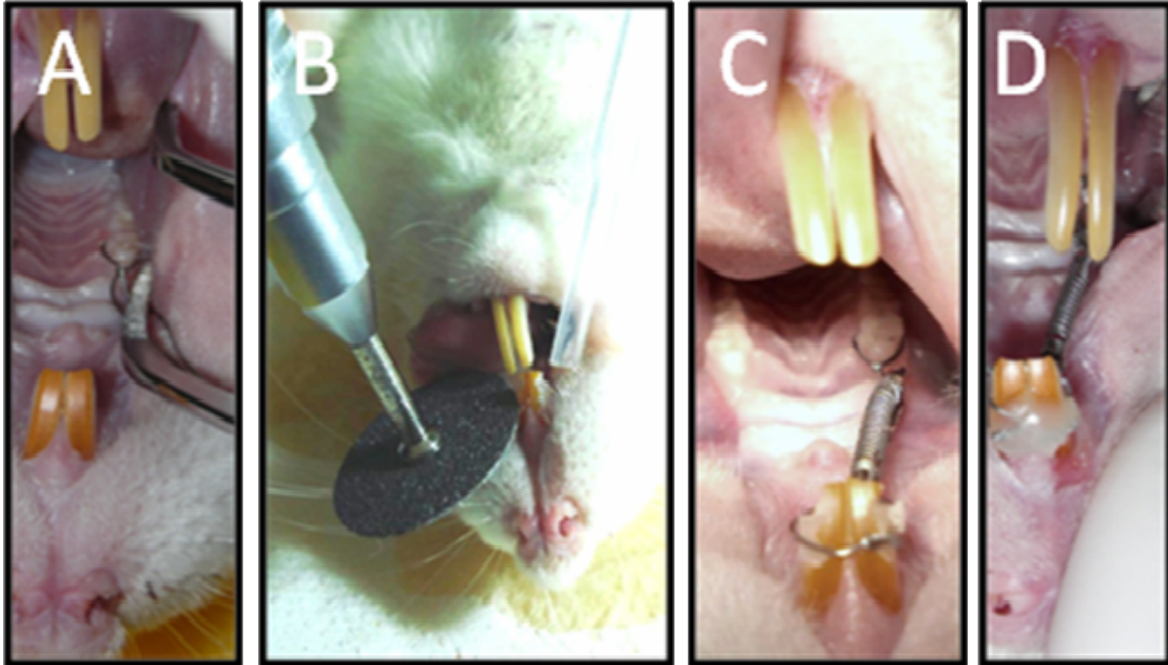


Figura 5. Instalación de la aparatología ortodóncica. **A.** Instalación de la ligadura cervical en el 1º molar superior. **B.** Tallado de surco en zona cervical con disco de carburundum. **C.** Instalación de coil y ligadura incisiva. **D.** Aplicación de resina compuesta sobre cierre de la ligadura.

El MDO se calculó midiendo la distancia entre el punto más mesio-gingival del primer molar superior y el punto más disto-gingival del incisivo del mismo lado, utilizando un pie de metro digital (Mitutoyo®) con resolución de 0,01 mm, evaluado en milímetros. Las mediciones se realizaron el día 7, 14, 21 y 28 en las primeras horas de la mañana bajo sedación de inyección intraperitoneal antes mencionada para evitar estrés en las ratas.

Para facilitar el análisis, las ratas fueron distribuidas según el día en que se realizaron las mediciones, donde (t) refiere al tiempo de análisis, t0 corresponde al día inicial; t1 corresponde al día 7; t2 corresponde al día 14; t3 corresponde al día 21 y t4 corresponde al día 28.

Todas las ratas fueron sacrificadas al tiempo establecido, fueron dormidas por inyección intraperitoneal de Ketamina y Xylazina y sacrificadas por perfusión intracardiaca de solución salina por 3 minutos y de Paraformaldehído al 4% en PBS

(pH 7,4) por 10 minutos. El objetivo de esta eutanasia fue para conservar los maxilares de las ratas con el fin de realizar estudios histológicos no relacionados con este estudio.

Para la realización de este estudio, se tomaron en cuenta las siguientes variables:

- Método de tratamiento utilizado, con MOPs y sin MOPs
- Distancia medida entre el primer molar y el incisivo central
- Velocidad de desplazamiento del diente a traccionar
- Días en los que se realiza el registro de las mediciones
- Días de experimentación

Para el análisis estadístico se utilizó el software SPSS Statistics 21. Se utilizaron medidas de tendencia central y de dispersión para cada tiempo de medición. Para el análisis de las diferencias en la distribución de datos entre el grupo control y experimental se utilizó pruebas estadísticas no paramétricas de Wilcoxon para muestras relacionadas debido a la poca cantidad de datos utilizados. El nivel de significancia estadística empleado para la interpretación de resultados es del 5%.

VI. RESULTADOS

Un total de 16 ratas Sprague-Dawley machos adultas de 32 semanas de edad fueron analizados en esta investigación.

En cada rata se instalaron aparatos ortodóncicos en el maxilar superior. El lado izquierdo (lado experimental) fue sometido a MDO + MOPs, el cual fue analizado y comparado con el lado derecho (lado control), que fue sometido solo a MDO.

Las 16 ratas fueron separadas en grupos según el día de experimentación (días 7, 14, 21 y 28). Se hicieron las mediciones iniciales (t0) calculando la distancia entre el punto más mesio-gingival del primer molar superior y el punto más disto-gingival del incisivo central superior en cada lado y luego se promedió según el número de ratas (n) para el lado derecho e izquierdo de forma independiente. Se realizaron las mismas mediciones para los días 7, 14, 21 y 28:

En el día 7 (t1) se realizó la medición en 11 ratas, ya que tres de ellas murieron el día 3 y en una rata no se efectuó la medición. Dos ratas fueron eutanasiadas por perfusión el mismo día 7.

En el día 14 (t2) se realizó la medición en 8 ratas, ya que una murió por sobredosis de anestesia en el día 7 y no se pudo realizar la medición. Se realizó eutanasia por perfusión en 2 ratas.

En el día 21 (t3) se realizó la medición en 6 ratas. Se efectuó eutanasia por perfusión en 3 ratas.

En el día 28 (t4) se realizó la medición en 3 ratas, las cuales fueron sacrificadas para otros fines investigativos.

Comparación del movimiento de los molares

Se observó que la diferencia de los promedio de la migración molar entre el lado control y el lado de intervención, en todos los tiempos (t0, t1, t2, t3 y t4), no fue estadísticamente significativo ($p > 0.05$) (véase tabla 1).

Durante t1, el lado de intervención presentó un mayor avance en comparación al lado control, sin embargo, durante el tiempo t2, la distancia recorrida en el lado de intervención fue parecida a la del lado control, siendo menor para el tiempo t3 y t4 en comparación al lado control. En el período de t3 se observa la menor cantidad de movimiento que hubo para ambos grupos al compararlo con los demás días de experimentación, pero a partir de t4 comienza a ascender la migración molar en ambos grupos, siendo considerablemente mayor en el grupo control.

	CONTROL			MOP			P _{value}
	n	\bar{x}	σ	n	\bar{x}	σ	
t0	16	0	0,463	16	0	0,473	1,000
t1	11	0,591	0,424	11	0,690	0,374	0,109
t2	8	0,310	0,323	2	0,300	0,354	0,208
t3	6	0,236	0,319	4	0,156	0,306	0,917
t4	3	0,518	0,367	3	0,205	0,215	0,285

Tabla 1. Comparación del movimiento de los 1º molares superiores entre grupo experimental y control, representada en milímetros.

Velocidad de movimiento por semana

Se observó una mayor velocidad de movimiento durante las primeras dos semanas de aplicación de MOPs en el lado izquierdo en comparación con el lado control (derecho), pero durante la semana del día 21 y 28 comenzó a descender levemente siendo menor a la del lado control, sin embargo, no hubo diferencia estadísticamente significativa respecto a la velocidad del MDO en cada semana (véase tabla 2).

	CONTROL			MOP			P _{value}
	n	\bar{x}	σ	n	\bar{x}	σ	
Dif. t1-t0	11	0,064	0,032	11	0,070	0,021	0,422
Dif. t2-t1	8	0,039	0,017	8	0,041	0,041	0,612
Dif. t3-t2	6	0,051	0,016	6	0,042	0,019	0,249
Dif. T4-t3	3	0,040	0,021	3	0,023	0,004	0,285

Tabla 2. Velocidad del movimiento dentario según grupo experimental, representada en mm/semana².

En el gráfico 1 se muestra una mayor velocidad de movimiento dentario en el lado experimental entre el tiempo t0 a t2 en comparación al lado control, sin embargo, la diferencia de velocidad no fue estadísticamente significativa durante este período de tiempo. Entre t2 y t3 la velocidad en el lado MOP se mantiene en el tiempo, mientras que en el lado control aumenta considerablemente sobrepasando al primero, disminuyendo ambos en la última semana de experimentación, siendo menor en el lado de intervención.

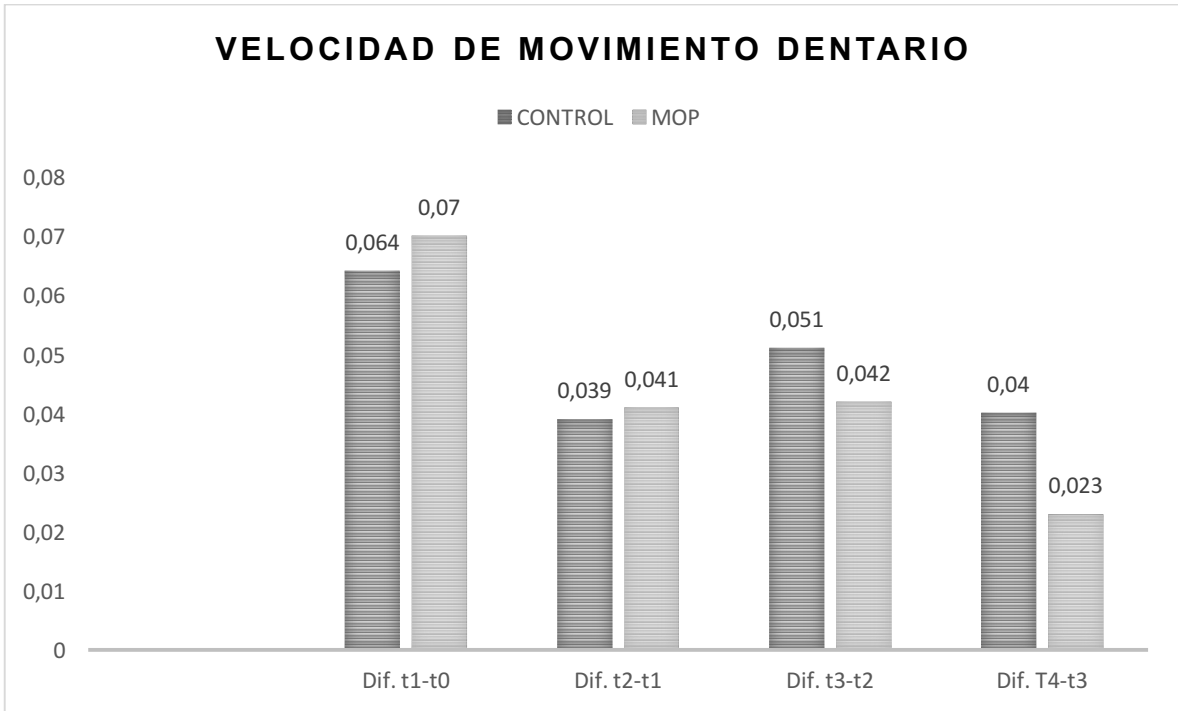


Gráfico 1. Velocidad de movimiento del primer molar superior entre lado MOP y lado control, representada en mm/semana².

VII. DISCUSIÓN

En estudios realizados recientemente, se ha reportado que el uso de MOPs durante el tratamiento ortodóncico en ratas es capaz de acelerar el movimiento dentario estimulando la remodelación ósea, reduciendo el riesgo de efectos secundarios no deseados tales como reabsorción radicular, caries/desmineralización y enfermedad periodontal/gingivitis ^[10,23], sin embargo, no ha habido suficiente evidencia su eficacia clínica en humanos, ya que las investigaciones relacionadas con el tema han sido escasas.

En el presente estudio se analizó el efecto de las MOPs al aplicar aparatología ortodóncica en 16 ratas adultas, las cuales fueron examinadas los días 7, 14, 21 y 28 calculando la distancia entre el incisivo central superior y el primer molar superior durante la migración dentaria producida por las fuerzas ortodóncicas, comparándolo con el lado contralateral, el cual solo fue sometido a MDO, con el fin de determinar si el uso de MOPs es capaz de acelerar el tratamiento ortodóncico. La mayoría de los experimentos relacionados con el MDO son realizados en ratas ^[31], ya que son consideradas un buen modelo de estudio por su bajo costo, la preparación histológica de los tejidos es más fácil de realizar en comparación con otros modelos animales y la mayoría de los anticuerpos requeridos para técnicas biológicas celulares y moleculares están solo disponibles para ratas ^[25,31], además poseen una fisiología similar a la del molar humano ^[25].

Hay que considerar para este estudio que las ratas presentan diferencias importantes en relación al modelo de erupción en comparación con la del humano, ya que estos últimos no presentan una erupción continua de sus incisivos ni tampoco una migración distal de los molares, como sucede con las ratas ^[24,29], por lo que se tuvo que controlar estos factores durante el experimento.

En los resultados del presente estudio podemos observar que al comparar el movimiento dentario entre el lado de MOP con el lado control (tabla 1), hubo mayor

desplazamiento molar del lado de intervención entre los días 7 y 14 de experimentación (t1 y t2), pero durante t3 y t4 la migración molar comenzó a decaer, siendo el lado control quien presentó mayor movimiento dentario en las últimas dos semanas, sin embargo, ninguna diferencia fue estadísticamente significativa, lo cual concordamos con Chi-Yang Tsai et al., quien en el año 2016 realizó un estudio similar en ratas utilizando MOPs, comparándolo con un grupo control en donde solo se aplicó MDO. El estudio demostró un aumento de la migración molar en comparación con el lado control durante la primera y segunda semana, el cual solo fue significativo en la segunda semana, disminuyendo de la tercera semana en adelante ^[8]. Esto podría deberse a la fase de retardo que se produce durante el tratamiento ortodóncico, donde hay poco o nulo desplazamiento debido a la presencia de áreas hialinizadas que impiden la diferenciación de osteoclastos, por lo que no puede ocurrir la reabsorción ósea, por ende, el movimiento dentario ^[8,9], sin embargo, Chi-Yang Tsai utilizó en sus ratas una fuerza de 50 gr durante la experimentación, en nuestro estudio esta fuerza fue menor (25 gr), lo que quiere decir que al aplicar una ligera fuerza ortodóncica en las ratas, se puede producir hialinización en el tejido periodontal de todas formas, afectando el desplazamiento dentario ^[8].

Respecto a la velocidad de movimiento dentario, el resultado fue similar; durante las primeras dos semanas, la velocidad de movimiento del lado MOP fue mayor en comparación al lado control, manteniéndose hasta la tercera semana y descendiendo para la cuarta semana, lo que sugiere lo mismo respecto a la migración dentaria y al estudio de Chi-Yang Tsai, donde la velocidad se ve afectada debido a la fase de retardo ^[8,9], sin embargo, ninguna diferencia fue estadísticamente significativa respecto a la velocidad de movimiento.

Otro factor que podría explicar la desaceleración y disminución de la migración molar en la última semana de experimentación en el lado de intervención, es la cantidad de MOPs aplicados y la necesidad de volver a intervenir. Alikhani et al., en un estudio similar realizado en ratas y humanos en el año 2015, comparó la

velocidad del movimiento del diente, número de osteoclastos y reabsorción radicular en 3 grupos, uno con 1 MOP, otro con 4 MOPs y un grupo control. El autor concluye que el grupo de 4 MOPs fue capaz de aumentar la tasa de movimiento de los dientes 2 veces más que el grupo de 1 MOP, lo que demuestra relación directa con la magnitud de traumatismo y la activación de marcadores inflamatorios, traduciéndose en mayor movimiento de los dientes, pero la expresión de citocinas no dura por mucho tiempo, por lo que es necesario repetir el procedimiento de MOPs en el transcurso del tratamiento de ortodoncia, oportunidad que no tuvimos en nuestra investigación. El autor recomienda incorporar las MOPs en el tratamiento ortodóncico de rutina, ya que facilita la alineación y movimiento radicular, estimula la remodelación ósea en áreas de hueso alveolar deficiente y reduce el estrés en las unidades de anclaje, por lo que sugiere repetir el procedimiento de ser necesario para aumentar la respuesta biológica ^[10], siendo cada 2 a 3 semanas según lo visto en nuestro estudio para restablecer el RAP y mantener acelerado el MDO durante el tiempo de tratamiento. Hay que considerar además que las ratas presentan una remodelación ósea más rápida que la del ser humano, por lo que la aplicación de MOPs tiene que ser de forma más continua ^[24,26]. Chi-Yang Tsai et al., explica además en su estudio que el RAP se observó dentro de las 2 semanas posteriores a la aplicación de MOPs en las ratas, demostrando mediante una investigación de varios casos que mientras más perforaciones se realizan en medida avanza el tratamiento, son mejores los resultados en cuanto a la rapidez, concluyendo que la magnitud del RAP es proporcional a la magnitud del estímulo quirúrgico ^[8].

Texeira et al, en un estudio con MOPs en 48 ratas, observó un aumento de la expresión de citocinas en la remodelación ósea y osteoporosidad del hueso alveolar, por lo que sugiere que el aumento del movimiento dentario tiene relación con las perforaciones. También destaca que el movimiento dentario no fue sólo por la expresión aumentada de citocinas, sino también al debilitamiento físico del hueso. El autor, al igual que otros previos en su investigación, demuestra que la tasa de remodelación ósea no está limitada al diente a mover, sino que se extiende por los tejidos y dientes adyacentes a él aumentando la porosidad del hueso, destacando

que las MOPs no necesariamente deben estar cerca del diente que se va a mover^[6], lo que llama la atención es que si bien menciona un efecto generalizado, éste no es capaz de cruzar al lado contralateral, lo que desecha posibilidad de que el lado control de nuestro estudio pudo haber sido beneficiado por las MOPs.

Durante la investigación, no logramos establecer una comparación directa del movimiento dentario entre el día de instalación y la última semana de experimentación, ya que la cantidad de ratas estudiadas se redujo a 3, por lo que hacer una comparación estadística no expresaría un resultado fidedigno respecto a la técnica, además el tiempo establecido no fue suficiente para obtener movimientos progresivos durante el tratamiento, ya que la fase de retardo puede durar varias semanas^[9].

Sugerimos nuevas investigaciones en MOPs para aumentar la evidencia científica respecto al tema, ya que hay pocos estudios que se refieran a esta técnica. Además por nuestra experiencia de finalizar con pocas ratas no aclara el panorama para las futuras semanas, por lo que hay que seguir indagando en la técnica en nuevos estudios, ya que hay diferentes investigaciones que hablan de las MOPs como una potencial alternativa para acelerar el movimiento dentario ortodóncico en la práctica privada, con beneficios importantes como una reabsorción mínima radicular y molestias postoperatorias.

VIII. CONCLUSIONES

En conocimiento sobre los resultados del presente estudio, y apoyados en nuestra investigación en ratas con MOPs, podemos concluir que, al igual que en estudios previos, el tratamiento con MOPs aumenta la velocidad del movimiento dentario en ratas adultas en las tres primeras semanas de aplicar el estímulo, y para que sea un tratamiento exitoso es necesario intervenir periódicamente con perforaciones a medida que el movimiento vaya en descenso, lo que indica la necesidad de reactivar el RAP por disminución en la expresión de marcadores inflamatorios.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Lideu Andrade Jr, Sousa AB, da Silva GG. New therapeutic modalities to modulate orthodontic tooth movement. *Dental Press J Orthod.* 2014;19(6):123-33.
- [2] Kirschneck C, Fanghänel J, Wahlmann U, Wolf M, Roldán JC, Interactive effects of periodontitis and orthodontic tooth movement on dental root resorption, tooth movement velocity and alveolar bone loss in a rat model, *Ann Anat,* 2017;210:32-43.
- [3] Yi J, Xiao J, Li H, Li Y et Al. Effectiveness of adjunctive interventions for accelerating orthodontic tooth movement: a systematic review of systematic reviews. *J Oral Rehabil.* 2017;44(8):636-654.
- [4] Hechang Huang, Ray C. Williams, Stephanos Kyrkanides. Accelerated orthodontic tooth movement: Molecular mechanisms. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2014;146(5):620-632.
- [5] Cheung T, Park J, Lee D, Kim C. Ability of micro-implant- facilitated MOP to accelerate tooth movement in rats. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2016;150(6):958-967.
- [6] C.C. Teixeira, E. Khoo, J. Tran et Al. Cytokine Expression and Accelerated Tooth Movement. *J Dent Res.* 2010;89(10):1135-41.
- [7] Liem AM, Hoogeveen EJ, Jansma J, Ren Y. Accelerated orthodontic treatment. *Ned Tijdschr Tandheelkd.* 2015;122(11):627-35.
- [8] Tsai CY, Yang TK, Hsieh HY, Yang LY. Comparison of the effects of micro-osteoperforation and corticision on the rate of orthodontic tooth movement in rats. *Angle Orthod.* 2016;86(4):558-64.

- [9] Shahrul Hisham Zainal Ariffin et al. Cellular and Molecular Changes in Orthodontic Tooth Movement. *ScientificWorldJournal*. 2011;11:1788-1803.
- [10] Mani Alikhani, Sarah Alansari, Chinapa Sangsuwon et Al. Microosteoperforations: Minimally invasive accelerated tooth movement. *Seminars in Orthodontics*, 2015;21(3):162–169.
- [11] Leonor Palomer R. Dental caries in children: a contagious disease. *Rev Chil Pediatr*. 2006;77(1):56-60.
- [12] Ogaard B, Rolla G, Arends J. Orthodontic appliances and enamel demineralization. Part 1. Lesion development. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1988;94(1):68-73.
- [13] Samah Alfuriji, Nora Alhazmi, Nasir Alhamlan, Ali Al-Ehaideb, Moatazbella Alruwaithi et Al. The Effect of Orthodontic Therapy on Periodontal Health: A Review of the Literature. *Int J Dent*. 2014;2014:585048. doi:10.1155/2014/585048.
- [14] Shingo Kyomen, Kazuo Tanne. Influences of aging changes in proliferative rate of PDL cells during experimental tooth movement in rats. *Angle Orthod*. 1997;67(1):67-72.
- [15] Qamruddin I, Alam MK, Khamis MF, Husein A. Minimally Invasive Techniques to Accelerate the Orthodontic Tooth Movement: A Systematic Review of Animal Studies. *Biomed Res Int*. 2015;2015; 608530. doi:10.1155/2015/608530.
- [16] Wilcko MT, Wilcko WM, Pulver JJ, Bissada NF, Bouquot JE. Accelerated osteogenic orthodontics technique: a 1-stage surgically facilitated rapid orthodontic technique with alveolar augmentation. *J Oral Maxillofac Surg*. 2009;67(10):2149-59.
- [17] Faraji M. y cols. Tratamiento ortodóncico acelerado periodontalmente: comparación de técnicas quirúrgicas *Rev Mex Periodontol* 2014;V(1):30-35.

[18] Robles M, Guerrero C, Hernández C. Ortodoncia acelerada periodontalmente: Fundamentos biológicos y técnicas quirúrgicas. Revista mexicana de Periodontología. 2011;2(1):12-16.

[19] Dinesh MR, Gupta S, Yannawar V, Sharma K, Agarwal A, Lagali P, Prasad AM. Periodontally Accelerated Osteogenic Tooth Movement in Orthodontics: A Review. Int J Adv Health Sci 2015;1(11):32-37.

[20] Arango JD., Roldan CM., Burgos LM., Giraldo C., Gutiérrez CE. et Al. Comparación clínica entre el tratamiento ortodóncico facilitado por corticotomía y ortodoncia convencional (estudio piloto). Int. J. Odontostomat. 2015;9(2):239-248.

[21] Aristizábal-P JF. Accelerated orthodontics and express transit orthodontics (ETO)®, a contemporary concept of high efficiency. Rev CES Odont. 2014;27(1):56-73.

[22] Keser EI, Dibart S. Sequential piezocision: a novel approach to accelerated orthodontic treatment. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2013;144(6):879-89.

[23] Alikhani M, Raptis M, Zoldan B, Sangsuwon C, Lee YB et Al. Effect of microosteoperforations on the rate of tooth movement. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2013;144(5):639-48.

[24] Rodríguez I., Palomino H., Vargas P. Cambios Vasculares y celulares del tejido pulpar en molares de ratas sometidas a fuerzas ortodóncicas. Universidad Andrés Bello, Facultad de Odontología, departamento de Ortodoncia, sede Santiago, Chile, año 2008.

[25] Contreras P., Palomino H., Vargas P. Influencia de la edad en los cambios histomorfológicos pulpoperiodontales durante la fase inicial del movimiento dentario

ortodóncico en ratas. Universidad de Chile, Facultad de Odontología, Departamento del Niño y Ortopedia Dentomaxilar, Departamento de Patología, Santiago, Chile, año 2013.

[26] Moran D., Villalon P., Palomino H., Vargas P. “Efecto del lipus en la expresión de RANKL durante el movimiento dentario ortodóncico en ratas jóvenes.” Universidad Andrés Bello, Facultad de Odontología, Departamento de Ortodoncia, sede Santiago, Chile, año 2011.

[27] Santamaría Jr. M. et al. Analysis of the dentin-pulp complex in teeth submitted to orthodontic movement in rats. *J Appl Oral Sci.* 2009;17Suppl:35-42.

[28] Von Böhl M. et al., Age-related changes of dental pulp tissue after experimental tooth movement in rats. *PeerJ* 2016 4:e1625; DOI 10.7717/peerj.1625.

[29] Maureira L., Palomino H., Torres M. “Efecto de la edad en la morfología periodontal de ratas a los 14 días de movimiento dentario ortodóncico”. Universidad de Chile, Facultad de Odontología, Departamento del Niño y Ortopedia Dentomaxilar, Departamento de Patología, Santiago, Chile, año 2011.

[30] Yadav S., The effect of mechanical vibration on orthodontically induced root resorption. *Angle Orthod.* 2016;86(5):740-5.

[31] Ren Y, Maltha JC, Kuijpers-Jagtman AM. The rat as a model for orthodontic tooth movement - a critical review and a proposed solution. *Eur J Orthod.* 2004;26(5):483-90.

X. ANEXOS



*Comité de Bioética
Facultad de Odontología*

Santiago, 23 de Marzo de 2016

Estimada Dra. Carla Delporte:

La comisión de bioética de la Facultad de Odontología de la Universidad Andrés Bello, ha analizado desde el punto de vista bioético, el proyecto titulado: "MAGNITUD DE MOVIMIENTO DENTARIO ORTODÓNCICO Y RESORCIÓN RADICULAR FRENTE A FUERZA EN RATAS JOVENES Y ADULTAS".

El principal objetivo del proyecto es determinar si existen variaciones en las características histológicas, morfológicas y morfométricas en el tejido óseo y periodontal, incluyendo el hueso alveolar y la superficie radicular de molares maxilares en distintas fases del movimiento ortodóncico y compararlas entre ratas jóvenes y adultas.

El informe de la comisión es el siguiente:

De acuerdo al estudio propuesto y análisis del proyecto y protocolo de manejo y cuidado de animales de laboratorio, se justifica el estudio con animales. Se informa adecuadamente el calculo estadístico para la determinación del numero de animales a utilizar en cada objetivo del proyecto, el que se desarrollara en un año. En total se utilizarán 42 ratas de la cepa Sprague-Dawley. El investigador responsable, hace una descripción detallada de las condiciones en que se realizará el estudio (lugar, manejo de los animales, dosis de anestesia, equipo, técnicos), además describe el procedimiento de eutanasia y disposición de los cadáveres al termino del procedimiento. Se indica que la persona encargada de la atención de los animales será el médico veterinario Gastón Abarzúa con basta experiencia en el manejo y cuidado de animales.

El Dr. Palomino modificó el protocolo presentado de acuerdo a las sugerencias del comité de ética y certifica que la investigación propuesta no constituye una duplicación innecesaria de investigaciones previas; que todas las personas trabajarán de acuerdo con las normas y reglas éticas vigentes nacionales e internacionales; que ha revisado la literatura científica y base de datos pertinentes sin encontrar procedimientos validos alternativos; que los antecedentes presentados en este Protocolo incluyen la totalidad de procedimientos con animales propuestos en el Proyecto y que se compromete a solicitar y obtener la aprobación del comité de bioética de Investigación antes de iniciar cualquier cambio del protocolo aprobado, sea de procedimientos como de personal.



*Comité de Bioética
Facultad de Odontología*

Analizados el protocolo de Manejo y Cuidado de animales de laboratorio, la Comisión aprobó el Proyecto y Protocolo código D101-08/CB

Sin otro particular, le saludan atentamente



Dr Herman Palomino Zúñiga
Presidente Comité Bioética