

# Alineadores dentales, un factor protector frente a la reabsorción radicular externa

Elizabeth Mesa Velez, Natalia Velez Trujillo



## Palabras claves

*Clear Aligners, Removable Aligners, Orthodontic Appliances Removable, Root Resorption*

## Introducción

Cada día la demanda estética en el área de la ortodoncia aumenta, donde no solo los jóvenes sino adultos mayores se interesan a reestablecer las dinámicas funcionales como oclusales. Lo anterior, ha impulsado los tratamientos ortodóncicos con alineadores, tanto por estética, comodidad e higiene oral en relación con la aparatología fija convencional.

Independiente de la técnica a utilizar, existe un factor que no se puede dejar de valorar y es la reabsorción radicular externa (RRE). Esta alteración se establece como una inflamación estéril, progresiva, asintomática, no deseada e inevitable, asociada a la aplicación de la fuerza sobre el diente, la cual se manifiesta con la pérdida de estructura radicular principalmente en la zona apical (1–3).

Su etiología es compleja y multifactorial, relacionada con factores clínicos, moleculares y biomecánicos. Diferentes enfoques investigativos han evaluado la incidencia y severidad de la RRE en función al tiempo, tipo de fuerza y aparatología utilizada, donde se reporta una mayor proporción en los incisivos centrales y laterales maxilares entre 20% a 100%, donde solo el 1% al 5% corresponde a su manifestación más severa; es decir a una pérdida de estructura mayor a 5mm (4,5).

Con el fin de estimar la prevalencia y severidad de la RRE con alineadores y aparatología fija, Yuan Li evaluó cambios radiculares por medio de radiografías 3D, donde reportó valores de 56.30% y  $0.13 \pm 0.47$  con el uso de alineadores, y 82.11% y  $1.12 \pm 1.34$  mm con aparatología fija convencional, en función con variables como el overjet, overbite, mordida abierta anterior y lateral, apiñamiento, maloclusión, ángulo ANB y SN (6,7). Sin embargo, la literatura es contradictoria, investigaciones como el de Yi Jianru en el 2018, Gay G en 2017, Iglesias-Linares en 2017, Fang X 2019 y Eissa O 2018, reportan que la incidencia de RRE era igual con alineadores y aparatología fija, no obstante, estos estudios se han realizado con radiografías

panorámicas y periapicales lo que impide la evaluación 3D de este fenómeno, además, el número de la muestra y la similitud entre los pacientes no aporta validez a los estudios (8–12).

Currell en el 2019 en una revisión sistemática evidencia la baja calidad y pobre diseño de los RCT's disponibles hasta la fecha, al evaluar la RRE durante los tratamientos de ortodoncia, lo que genera interés de analizar la literatura disponible con la mejor evidencia para establecer cuáles son aquellos criterios que le indican al clínico tener alertas para el uso de alineadores y por ende disminuir el riesgo RRE.(13)

## **Metodología**

Se realizó una estrategia de búsqueda electrónica en las siguientes bases de datos: Scopus, Pubmed, Google Scholar, Science Direct y Cochrane library. La búsqueda se limitó al idioma inglés, donde se incluyeron investigaciones tipo metanálisis, revisiones sistemáticas, ensayos clínicos, estudios longitudinales, transversales y retrospectivos en población humana, entre los años 2010 a 2021. Los criterios para la selección fueron los siguientes: pacientes con maloclusiones que requerían tratamiento ortodóncico, donde la intervención fuese con aparatología fija o alineadores dentales con el fin de evaluar el grado de reabsorción radicular valorada en radiografías y/o tomografías. Se utilizaron los siguientes términos Mesh: *root resorption, clear aligner, orthodontic appliances, removable*, para un total de 135 artículos, los cuales fueron evaluados inicialmente por el título y resumen. 80 artículos se excluyeron por estar repetidos, 31 no se relacionaban con el tema, y 8 no se tiene acceso al texto completo, para un total de 16 artículos (figura 1)

## **Generalidades**

Al aplicar una fuerza ortodóncica se producen cambios celulares como moleculares en el complejo dentino pulpo periodontal, tales como, disminución de la tasa de respiración pulpar, inflamación del ligamento periodontal en la zona de presión, hipoxia y alteración de los fibroblastos, lo que desencadena la activación de receptores mecanosensibles y aumento de mediadores celulares proinflamatorios como lo son las citoquinas, prostaglandinas, factores de crecimiento y neurotransmisores. En respuesta, se incrementa el número de osteoclastos y osteoblastos involucrados en la remodelación ósea, dando lugar al movimiento dental (14,15).

La severidad de estos eventos celulares, está relacionado con factores como la magnitud y duración de la fuerza, lo que se traduce finalmente en un cambio morfológico a nivel radicular, el cual inicia desde el día 10 de la aplicación de la

fuerza (16–19). Sin embargo, mediante la radiografía panorámica se logra evidenciar signos de RRE a los 6 meses del inicio del tratamiento, adicionalmente presenta una magnificación del 25%, lo que implica una sobreestimación de la condición en un 20% comparada con una periapical (18,20) y a su vez una subestimación con respecto a la tomografía conebeam (CBCT); Consecuentemente, se hace necesario el uso de una tomografía para el diagnóstico y seguimiento de la RRE con el fin de identificar factores de riesgo de una forma crítica y asertiva. (6,18,21–23).

Levander y Malmgerm usaron 5 categorías (grado 0, 1, 2, 3 y 4) para diagnosticar la RRE por medio de radiografías durante el tratamiento de ortodoncia dependiendo de su severidad (24). Adicionalmente, a nivel histológico se clasifica en *superficial* donde se reabsorben las capas más externas del cemento pero al retirar el estímulo, estas se regeneran, en la *profunda* se reabsorbe el cemento y capas superficiales de dentina en la cual se regenera el cemento y se obtiene un remodelado de la raíz y por último, está la reabsorción *apical* circunferencial la cual se caracteriza por la pérdida irreversible de estructura de cemento y dentina (5,25).

Dentro de los factores de riesgo biomecánicos para la aparición de RRE, está el tipo de aparatología y su relación en la aplicación de la fuerza, motivo por el cual la ciencia se enfoca en la búsqueda de técnicas que disminuyan la aparición de la RRE (26). En respuesta, ha surgido la aparatología de autoligado y los alineadores dentales, estos últimos son placas realizadas mediante CAD/CAM generado modelos estereolitográficos fundamentados a partir de un plan de tratamiento establecido digitalmente mediante software. Cada alineador se programa para realizar movimiento a un pequeño grupo de dientes entre 0.25 a 0.33 mm (27).

Las placas son fabricadas en polímeros termoplásticos como el poliéster, poliuretano y polipropileno, lo que da resistencia química, resistencia a la abrasión y facilidad de procesamiento; teniendo presente que estos pueden ser alterados por el calor, la humedad, el contacto con las enzimas salivales y la parafunción, se recomienda ser cambiados en lapsos de 2 semanas (27).

Casas comerciales como Smartee DentiTechnology, Shanghai, China. Duran (Scheu Dental, Iserlohn, Germany) y eCligner(eCligner, Seoul, Korea usan mezclas poliméricas para la elaboración de los alineadores, como el polietileno tereftalato de glicol (PETG) (28).

Invisalign en el 2013 introdujo una mezcla polimérica, el LD30 llamado “Smart track” de 0.75mm, compuesta por una multicapa aromática termoplástica de poliuretano/poliéster, que da mayor consistencia en la aplicación de fuerzas, mayor elasticidad lo que genera una mayor adaptación y comodidad (29).

La aparatología removible presenta diferentes aspectos biomecánicos frente a la fija, tales como la magnitud y duración de la fuerza que pueden contribuir en la aparición de la RRE (30–36), no obstante, hay diversos factores biomecánicos que están directamente relacionados con el riesgo de RRE, tales como tipo de diente, duración del tratamiento, casos con exodoncias que involucran cierre de espacios, clases II y clases III con movimientos de alto torque y movimientos verticales principalmente la intrusión seguido por la extrusión, basado en la gran concentración de estrés en el ápice (13,36–38). Estas consideraciones deben tenerse en cuenta para la selección específica de la técnica en cada paciente, si bien la literatura evidencia que los alineadores dentales generan una reducción en la aparición de RRE, estos resultados no son estadísticamente significativos, sin embargo, al extrapolar la información a la práctica clínica, esa reducción de la RRE no se entiende

## **Variables**

### **Duración de la fuerza**

La duración de la fuerza ortodóncica se clasifica en tres categorías: *continua* donde la fuerza se mantiene en una buena proporción de la fuerza original, no llega a cero entre las reactivaciones, *interrumpida* donde los niveles de fuerza descienden hasta cero antes de la reactivación e *intermitente* donde estos niveles descienden hasta cero (30–35).

Para un movimiento ortodóncico ideal, se deben aplicar fuerzas que se mantengan la mayor parte del tiempo mínimo por 4 a 8 horas, y a su vez lo suficientemente fuerte para permitir el movimiento dental y no generar obliteración de los capilares. Pasado este rango de tiempo se inicia la liberación de los segundos mensajeros y mediadores inflamatorios (RANKL, OPG, IL-1B); los cuales alcanzan su pico máximo a las 24 horas. Finalmente, a las 48 horas aparecen los osteoclastos en la zona de presión (39,40).

Los alineadores crean fuerzas intermitentes, donde se evidencia que estas fuerzas permiten que el cemento reabsorbido pueda cicatrizar y no generar pérdida de dentina por la proliferación celular, aumento en la circulación y calcificación de la nueva capa osteoide. Este concepto es denominado por Reitan como “semihialinización”, donde no todas las fibras del ligamento periodontal se comprimen, algunas sufren necrosis, disminuyendo la severidad de la RRE. La duración de los tratamientos es menor con relación a la aparatología fija adicionalmente factor que también contribuye a que el proceso del remodelado radicular disminuya (41–43).

Casa y col en el 2006, reportaron que las fuerzas continuas y de larga duración generan mayores lagunas resortivas, lo que conduce a un aumento en el

remodelado apical debido a que la eliminación de estas zonas hialinas implica el reclutamiento de gran cantidad de células fagocíticas que no solos reabsorben hueso, sino también estructura radicular, provocando un retraso del movimiento dental.(44)

### **Magnitud de la fuerza**

Schwarz describe el concepto de “fuerza óptima” durante un tratamiento de ortodoncia como aquella fuerza que permite una adecuada respuesta celular y vascular manteniendo la vitalidad de los tejidos, lo que equivale a la presión parcial de los capilares periodontales (7 a 26 g x cm<sup>2</sup>) (45–47). Proffit en el 2014 reporto diferentes valores de la magnitud de la fuerza, dependiendo del tipo de movimiento y el área radicular (39), donde hace evidente que para realizar movimientos de inclinación la fuerza debe oscilar entre 35 g a 60 g, para movimientos de traslación entre 70 g a 120 g, movimientos radiculares entre 50 g a 100 g, rotaciones entre 35 g a 60 g, extrusiones entre 35 g a 60 g e intrusiones entre 10 g a 20 g.

Es de diferenciar que las fuerzas livianas generan una reabsorción directa o frontal, contrario a fuerzas pesadas que ocasionan reabsorción ósea basal o indirecta(48). Lo anterior, conduce a realizar movimientos controlados en cuanto a la magnitud de la fuerza ya que provee un menor riesgo de RRE (8).

Chan y Darendeliler en 2005 y 2006, realizaron un ensayo clínico aleatorizado con el objetivo de evaluar el efecto de la magnitud de la fuerza ortodóncica sobre el volumen de los cráteres resorptivos, usando una técnica segmentada en 36 primeros premolares que se extraerían, aplicando fuerzas de 25 g, 225 g, versus un grupo control de 0 g. Como resultado se obtuvo mayor RRE ante fuerzas pesadas (194.58 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>) comparadas con las livianas (58.69 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>) y el grupo control (16.77 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>) (19,49).

Barbagallo en el 2008, evaluó magnitudes de fuerza livianas (25 g) y fuerzas pesadas (225 g) con aparatología convencional y alineadores ClearSmile, cuantificando la perdida de estructura radicular apical por medio de tomografía microcomputarizada, donde evidenció que fuerzas livianas producen una RRE 5 veces mayor que el grupo control, y las fuerzas pesadas la producen 9 veces más. Destaca que los sitios donde se presenta mayor RRE son las zonas de compresión bucodistal y linguomesial, afirmando que con alineadores se tienen los mismos efectos en el cemento que los del grupo de fuerzas ligeras. (31).

Simon y col en el 2014, reportan que la fuerza que entrega un alineador para dar torque a un incisivo maxilar oscila entre 6.7 y 7.9 N.mm, para distalizar un molar se

requiere 1 N.mm y al desrotar premolares se requieren fuerzas entre los 1.2 y 8.8 N.mm; estos valores varían según el número de ataches (50).

A pesar de la planeación digital y la precisión de los alineadores para entregar una fuerza constante, se ha evidenciado diferencias entre 1 y 15 N.mm en momentos iniciales entre alineadores consecutivos. Estas diferencias en la fuerza pueden deberse a inexactitudes en el proceso de manufactura; lo que conduce a una reducción de la fuerza de 51% después de 2 semanas de uso (51).

Otro factor importante que genera cambios en la fuerza, es la secuencia de los alineadores, ya que después de un alineador con un sistema de fuerzas inicial alto, sigue un alineador con un sistema de fuerzas bajo en los 3 tipos de movimiento. Según la casa comercial puede variar la aplicación de la fuerza. Por ejemplo el sistema Invisalign logra 2° de torque, 1° de torsión y 0.25mm de desplazamiento en cada alineador, a diferencia del sistema ClearSmile el cual permite un desplazamiento mayor de 0,5mm lo que transmite fuerzas más altas por su rigidez (50).

El grosor de las placas varía entre 0,4 mm y 1 mm, una vez termoformada se presenta una disminución en su grosor de 7,4% a 25,1%, y al introducirse en boca sufre una expansión higroscópica del 100,3% al 119,9% por lo que su ajuste se reduce.(51)

Elkholy F y col en el 2017, con el objetivo de valorar la estabilidad, asentamiento de los alineadores, efectividad del tratamiento y riesgo de RRE, evaluaron grosores de PETG, entre 0,3 mm y 0,4 mm en relación a los de 0.5 mm, que se destacan de ser los más usados, donde concluyeron que los alineadores de 0,4 mm pueden reducir la sobrecarga de los dientes sin perder estabilidad, disminuyendo el riesgo RRE. Por lo anterior el autor, sugieren una secuencia de espesor de 0.4 mm hasta 0,75 mm (51).

### **Relación entre magnitud y dirección de la fuerza**

Un estudio in vitro realizado en el 2014, aplicó fuerzas compresivas a células de ligamento periodontal de 2 o 5 gr/cm<sup>2</sup>, generando fuerzas intermitentes por 8 horas diarias y fuerzas continuas, durante 2, 3 o 4 días, Los resultados evidencian una atrofia mayor cuando se aplicaban fuerzas pesadas y continuas a diferencia si se aplicaban fuerzas intermitentes donde pocas células se atrofiaban, efecto que fue más evidente en función al tipo de fuerza, transcurrido de 3 a 4 días de la aplicación inicial.(40)

La compresión conlleva a la expresión de RANKL. Sin embargo, la fuerza intermitente genera mayor expresión de esta molécula y a su vez son dependientes del tiempo, su mayor expresión se dio a los 4 días de la aplicación de la fuerza,

situación similar ocurre con la IL-1 $\beta$ , donde en ausencia de fuerza, esta no se expresa, pero ante fuerzas livianas e intermitentes y pasados 4 días de la compresión, aumenta su expresión. Es evidente que ante fuerzas intermitentes de 2 g/cm<sup>2</sup> hay una expresión mayor de IL-1 $\beta$  y RANKL y un menor daño de las células del ligamento periodontal (40).

Paetyangkul y col en 2011, evaluaron 54 primeros premolares maxilares que iban a ser extraídos en función a la medición volumétrica de los cráteres resortivos después de la aplicación de fuerzas livianas y pesadas por 4, 8 y 12 semanas. Evidenciaron que la magnitud de los cráteres depende de la magnitud y la duración, es así que, las fuerzas livianas aplicadas por lapsos de 8 semanas pueden aumentar el riesgo de RRE, esto indica que independiente de la aparatología usada, se deben trabajar periodos de activación en el tratamiento ya que es beneficioso en función a la prevención de la RRE. (52)

Sin embargo, la prevalencia de RRE con alineadores es todavía controversial, se ha evidenciado variabilidad en los resultados en función a la heterogeneidad en el tamaño de la muestra, herramienta diagnóstica usada, medición de la RRE, tipo de diente evaluado, magnitud, dirección y duración de las fuerzas además de estar modificada por factores como el sexo, maloclusión, apiñamiento y aproximación a la cortical palatina (3,7,10,36). Debido a lo anterior diversos estudios manifiestan una baja predisposición de RRE con alineadores (6–8,11–13,48,53,54) y otros muestran similitud entre aparatología fija y removible (9,10,36,38,42,55,56).

## **Conclusiones**

1. Faltan estudios a largo plazo con CBCT para evaluar la incidencia de RRE con alineadores, sin embargo, se ha evidenciado que los alineadores no previenen, pero si disminuyen el riesgo de RRE.
2. Los alineadores producen fuerzas intermitentes y livianas que permiten cicatrización del tejido, generando menor riesgo de RRE, lo que sugiere que una pausa en la aplicación de fuerza es beneficiosa para la cicatrización de los tejidos.
3. El material del alineador y su grosor juegan un papel importante en la entrega de las fuerzas y el riesgo de RRE
4. Factores como el tipo de movimiento: torque, la intrusión, casos con exodoncias, la duración del tratamiento aumenta el riesgo de RRE independiente de la técnica usada

## **Bibliografía.**

1. Weltman B, Vig KWL, Fields HW, Shanker S, Kaizar EE. Root resorption associated with orthodontic tooth movement: A systematic review. *Am J Orthod Dentofac Orthop* [Internet]. 2010;137(4):462–76. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2009.06.021>
2. Adibi S, Zhang W, Servos T, O'Neill PN. Cone beam computed tomography in dentistry: what dental educators and learners should know. *J Dent Educ* [Internet]. 2012;76(11):1437–42. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23144478>
3. Guo Y, He S, Gu T, Liu Y, Chen S. Genetic and clinical risk factors of root resorption associated with orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofac Orthop* [Internet]. 2016;150(2):283–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2015.12.028>
4. Baumrind S, Korn EL, Boyd RL. Apical root resorption in orthodontically treated adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1996;110(3):311–20.
5. Brezniak N, Wasserstein A. Orthodontically Induced Inflammatory Root Resorption. Part I: The Basic Science Aspects. *Angle Orthod*. 2002;72(2):175–9.
6. Li Y, Deng S, Mei L, Li Z, Zhang X, Yang C, et al. Prevalence and severity of apical root resorption during orthodontic treatment with clear aligners and fixed appliances: a cone beam computed tomography study. *Prog Orthod*. 2020;21(1):1–8.
7. Chandiramami S, Azevedo B, Nicholson E, German D, Scarfe WC, Aman C, et al. Apical root resorption during orthodontic treatment with clear aligners: A retrospective study using cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofac Orthop* [Internet]. 2018;153(6):842–51. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2017.10.026>
8. Yi J, Xiao J, Li Y, Li X, Zhao Z. External apical root resorption in non-extraction cases after clear aligner therapy or fixed orthodontic treatment. *J Dent Sci*. 2018;13(1):48–53.
9. Gay G, Ravera S, Castroflorio T, Garino F, Rossini G, Parrini S, et al. Root resorption during orthodontic treatment with Invisalign®: a radiometric study. *Prog Orthod*. 2017;18(1):0–5.
10. Iglesias-Linares A, Sonnenberg B, Solano B, Yañez-Vico RM, Solano E, Lindauer SJ, et al. Orthodontically induced external apical root resorption in patients treated with fixed appliances vs removable aligners. *Angle Orthod*. 2017;87(1):3–10.
11. Fang X, Qi R, Liu C. Root resorption in orthodontic treatment with clear aligners: A systematic review and meta-analysis. *Orthod Craniofac Res*. 2019;22(4):259–69.



12. Eissa O, Carlyle T, El-Bialy T. Evaluation of root length following treatment with clear aligners and two different fixed orthodontic appliances. A pilot study. *J Orthod Sci.* 2018;7(1):0–5.
13. Derek Currell S, Liaw A, Donald Blackmore Grant P, Esterman A, Nimmo Beenliegh A. Orthodontic mechanotherapies and their influence on external root resorption: A systematic review. *Am J Orthod Dentofac Orthop [Internet].* 2019;155(3):313–29. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2018.10.015>
14. Yamaguchi M, Kasai K. Inflammation in periodontal tissues in response to mechanical forces. *Arch Immunol Ther Exp [Internet].* 2005;53(5):388–98. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16314823>
15. Römer P, Wolf M, Fanghänel J, Reicheneder C, Proff P. Cellular response to orthodontically-induced short-term hypoxia in dental pulp cells. *Cell Tissue Res.* 2014;355(1):173–80.
16. Sherrard JF, Rossouw PE, Benson BW, Carrillo R, Buschang PH. Accuracy and reliability of tooth and root lengths measured on cone-beam computed tomographs. *Am J Orthod Dentofac Orthop [Internet].* 2010;137(4 SUPPL.):S100–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2009.03.040>
17. Smale I, Årtun J, Behbehani F, Doppel D, Van't Hof M, Kuijpers-Jagtman AM. Apical root resorption 6 months after initiation of fixed orthodontic appliance therapy. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2005;128(1):57–67.
18. Chan EKM, Darendeliler MA. Exploring the third dimension in root resorption. *Orthod Craniofac Res.* 2004;7(2):64–70.
19. Chan E, Darendeliler MA. Physical properties of root cementum: Part 5. Volumetric analysis of root resorption craters after application of light and heavy orthodontic forces. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2005;127(2):186–95.
20. Sameshima GT, Asgarifar KO. Assessment of Root Resorption and Root Shape: Periapical vs Panoramic Films. *Angle Orthod.* 2001;71(3):185–9.
21. Patel S, Dawood A, Wilson R, Horner K, Mannocci F. The detection and management of root resorption lesions using intraoral radiography and cone beam computed tomography - an in vivo investigation. *Int Endod J.* 2009;42(9):831–8.
22. Leung CC, Palomo L, Griffith R, Hans MG. Accuracy and reliability of cone-beam computed tomography for measuring alveolar bone height and detecting bony dehiscences and fenestrations. *Am J Orthod Dentofac Orthop [Internet].* 2010;137(4 SUPPL.):S109–19. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2009.07.013>
23. Haney E, Gansky SA, Lee JS, Johnson E, Maki K, Miller AJ, et al.

Comparative analysis of traditional radiographs and cone-beam computed tomography volumetric images in the diagnosis and treatment planning of maxillary impacted canines. *Am J Orthod Dentofac Orthop* [Internet]. 2010;137(5):590–7. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2008.06.035>

24. E L, O M, S E. Evaluation of the risk of root resorption in relation to two orthodontic treatment regimes. *Eur J Orthod*. 1988;10(16 (3)):223–8.
25. Brezniak N, Wasserstein A. Orthodontically Induced Inflammatory Root Resorption. Part II: The Clinical Aspects. *Angle Orthod*. 2002;72(2):180–4.
26. Kim KW, Kim SJ, Lee JY, Choi YJ, Chung CJ, Lim H, et al. Apical root displacement is a critical risk factor for apical root resorption after orthodontic treatment. *Angle Orthod*. 2018;88(6):740–7.
27. Kravitz ND, Kusnoto B, BeGole E, Obrez A, Agran B. How well does Invisalign work? A prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with Invisalign. *Am J Orthod Dentofac Orthop* [Internet]. 2009;135(1):27–35. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2007.05.018>
28. Ryu JH, Kwon JS, Jiang HB, Cha JY, Kim KM. Effects of thermoforming on the physical and mechanical properties of thermoplastic materials for transparent orthodontic aligners. *Korean J Orthod*. 2018;48(5):316–25.
29. Bräscher AK, Zuran D, Feldmann RE, Benrath J. Patient survey on Invisalign® treatment compared the SmartTrack® material to the previous aligner material. *J Orofac Orthop*. 2016;77(6):432–8.
30. Casa MA, Faltin RM, Faltin K, Sander F-G, Arana-Chavez VE. Root Resorptions in Upper First Premolars after Application of Continuous Torque Moment Intra-Individual Study. *J Orofac Orthop / Fortschritte der Kieferorthopädie*. 2001;62(4):285–95.
31. Barbagallo LJ, Jones AS, Petocz P, Darendeliler MA. Physical properties of root cementum: Part 10. Comparison of the effects of invisible removable thermoplastic appliances with light and heavy orthodontic forces on premolar cementum. A microcomputed-tomography study. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2008;133(2):218–27.
32. Acar A, Canyurek U, Kocaaga M EN. Continuous vs. discontinuous force application and root resorption.
33. Konoo T, Kim YJ, Gu GM, King GJ. Intermittent force in orthodontic tooth movement. *J Dent Res*. 2001;80(2):457–60.
34. Weiland F. Constant versus dissipating forces in orthodontics: The effect on initial tooth movement and root resorption. *Eur J Orthod*. 2003;25(4):335–42.
35. Owman-Moll P, Kurol J, Lundgren D. Continuous versus interrupted continuous orthodontic force related to early tooth movement and root

resorption. Vol. 65, The Angle orthodontist. 1995.

36. Liu W, Shao J, Li S, Al-balaa M, Xia L, Li H, et al. Volumetric cone-beam computed tomography evaluation and risk factor analysis of external apical root resorption with clear aligner therapy. *Angle Orthod.* 2021;(November 2020):1–7.
37. Azeroual M-F, Bahije L, Benyahia H, Zaoui F, Elhaddaoui R, Razine R. Resorption of maxillary incisors after orthodontic treatment – clinical study of risk factors. *Int Orthod.* 2016;14(1):48–64.
38. Gandhi V, Mehta S, Gauthier M, Mu J, Kuo C-L, Nanda R, et al. Comparison of external apical root resorption with clear aligners and pre-adjusted edgewise appliances in non-extraction cases: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthod.* 2020;1–10.
39. Proffit W.R. FHW “Bases B del. Bases Biológicas del Tratamiento Ortodóncico. In: *Ortodoncia Contemporanea* 5 edición Barcelona. 2014. p. 278–311.
40. Nakao K, Goto T, Gunjigake KK, Konoo T, Kobayashi S, Yamaguchi K. Intermittent force induces high RANKL expression in human periodontal ligament cells. *J Dent Res.* 2007;86(7):623–8.
41. Thilander B, Reitan K et al: T reactions in orthodontics. Tissue reactions in orthodontics. In: Graber TM, Vanarsdall RL, editors. *Orthodontics: current principles and techniques.* 3rd ed. St Louis: Mosby; 2000.
42. Aldeeri A, Alhammad L, Alduham A, Ghassan W, Shafshak S, Fatani E. Association of Orthodontic Clear Aligners with Root Resorption Using Three-dimension Measurements : A Systematic Review. *J Contemp Dent Pract.* 2018;19(12):1558–64.
43. Krieger E, Seiferth J, Saric I, Jung BA, Wehrbein H. Genauigkeit von Invisalign®-Behandlungen im Frontzahnbereich: Erste Ergebnisse. *J Orofac Orthop.* 2011;72(2):141–9.
44. Casa MA, Faltin RM, Faltin K, Arana-Chavez VE. Root resorption on torqued human premolars shown by tartrate-resistant acid phosphatase histochemistry and transmission electron microscopy. *Angle Orthod.* 2006;76(6):1015–21.
45. Schwarz AM. Tissue changes incidental to orthodontic tooth movement. *Int J Orthod Oral Surg Radiogr* [Internet]. 1932;18(4):331–52. Available from: [http://dx.doi.org/10.1016/S0099-6963\(32\)80074-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0099-6963(32)80074-8)
46. Von Böhl M, Maltha J, Von Den Hoff H, Kuijpers-Jagtman AM. Changes in the periodontal ligament after experimental tooth movement using high and low continuous forces in beagle dogs. *Angle Orthod.* 2004;74(1):16–25.
47. Zainal Ariffin SH, Yamamoto Z, Zainol Abidin Intan Z, Megat Abdul Wahab R, Zainal Ariffin Z. Cellular and Molecular Changes in Orthodontic Tooth

Movement. *Sci World J.* 2011;11:1788–803.

48. Roscoe MG, Meira JBC, Cattaneo PM. Association of orthodontic force system and root resorption: A systematic review. *Am J Orthod Dentofac Orthop* [Internet]. 2015;147(5):610–26. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2014.12.026>
49. Chan E, Darendeliler MA. Physical properties of root cementum: Part 7. Extent of root resorption under areas of compression and tension. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2006;129(4):504–10.
50. Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung BA, Bourauel C. Forces and moments generated by removable thermoplastic aligners: Incisor torque, premolar derotation, and molar distalization. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2014;145(6):728–36.
51. Elkholy F, Schmidt F, Jäger R, Lapatki BG. Forces and moments applied during derotation of a maxillary central incisor with thinner aligners: An in-vitro study. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2017;151(2):407–15.
52. Paetyangkul A, Türk T, Elekda-Türk S, Jones AS, Petocz P, Cheng LL, et al. Physical properties of root cementum: Part 16. Comparisons of root resorption and resorption craters after the application of light and heavy continuous and controlled orthodontic forces for 4, 8, and 12 weeks. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2011;139(3):279–84.
53. Elhaddaoui R, Qoraich HS, Bahije L, Zaoui F. Orthodontic aligners and root resorption: A systematic review. *Int Orthod* [Internet]. 2017;15(1):1–12. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ortho.2016.12.019>
54. Al-Zainal MH, Anvery S, Al-Jewair T. Clear Aligner Therapy May Not Prevent But May Decrease the Incidence of External Root Resorption Compared to Full Fixed Appliances. *J Evid Based Dent Pract* [Internet]. 2020;20(2):101438. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jebdp.2020.101438>
55. Krieger E, Drechsler T, Schmidtman I, Jacobs C, Haag S, Wehrbein H. Apical root resorption during orthodontic treatment with aligners? A retrospective radiometric study. *Head Face Med.* 2013;9(1):1–8.
56. Wang J, Lamani E, Christou T, Li P, Kau CH. A randomized trial on the effects of root resorption after orthodontic treatment using pulsating force. *BMC Oral Health.* 2020;20(1):1–7.