



REABSORCIÓN RADICULAR EXTERNA INDUCIDA POR EL TRATAMIENTO ORTODÓNCICO

Autor: Dra. Romina Bermúdez

Tutor: Prof. Dr. Gainer Jasa. Ph.D

Carrera de Especialización en Ortodoncia y Ortopedia
D.M.F.

Escuela de graduados - Facultad de Odontología
Universidad de la República

Uruguay, 2026.

RESUMEN

La reabsorción radicular externa (RRE) inducida por ortodoncia es un efecto secundario adverso, frecuente e irreversible. Se define como un proceso inflamatorio derivado de las fuerzas mecánicas aplicadas sobre el ligamento periodontal, manifestándose predominantemente en el tercio apical. Su naturaleza multifactorial y curso impredecible plantean un desafío clínico relevante en la práctica ortodóncica actual.

Con el objetivo de analizar la evidencia científica sobre la RRE inducida por el tratamiento ortodóncico, evaluando sus métodos diagnósticos, prevalencia y factores de riesgo inherentes tanto al paciente como al tratamiento, se realizó una monografía de revisión narrativa estructurada bajo la estrategia PICO. Entre enero y febrero de 2026 se realizó la búsqueda en bases electrónicas, la cual fue complementada con literatura histórica y una búsqueda manual; utilizando en total 37 referencias seleccionadas bajo criterios de lectura crítica.

La RRE posee una alta prevalencia general pero baja severidad clínica, predominando los grados más leves de la misma. El diagnóstico inicial puede realizarse con radiografías periapicales y ortopantomografías (OPT), reservando la tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) ante sospechas de daño moderado-severo. Su carácter multifactorial involucra factores inherentes al paciente e inherentes al tratamiento ortodóncico. La susceptibilidad del paciente está determinada por la madurez radicular, predisposición genética, anomalías morfológicas, antecedentes de trauma y hábitos parafuncionales. Respecto al tratamiento, el daño se incrementa ante fuerzas pesadas continuas, fases activas mayores a 24 meses y mecánicas de cierre de espacios por extracciones.

Debido a que se hallaron limitaciones metodológicas en algunos estudios, se sugiere estandarizar el diseño de futuras investigaciones para evitar sesgos al evaluar la reabsorción. Considerando que este proceso es un efecto directo del movimiento dental y presenta una alta prevalencia, el ortodoncista debe confeccionar una rigurosa historia clínica y conocer los factores de riesgo inherentes al paciente y al tratamiento ortodóncico para poder controlarlos preventivamente desde la planificación.

Palabras clave: Reabsorción radicular; Ortodoncia; Factores de riesgo.

Key Words: Root Resorption; Orthodontics; Risk factors.

SUMARIO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	2
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
3. MÉTODO.....	3
4. ANTECEDENTES.....	5
5. DESARROLLO.....	7
5.1 Diagnóstico.....	7
5.2 Prevalencia.....	9
5.3 Factores de riesgo.....	10
5.3.1 Factores de riesgo inherentes al paciente.....	11
5.3.1.1 Variables demográficas.....	11
5.3.1.2 Predisposición genética.....	12
5.3.1.3 Características anatómicas y morfológicas.....	12
5.3.1.4 Antecedentes y estado local de las piezas dentarias.....	13
5.3.1.5 Hábitos parafuncionales.....	13
5.3.2 Factores de riesgo inherentes al tratamiento ortodóncico.....	14
5.3.2.1 Magnitud y naturaleza de la fuerza ortodóncica.....	14
Intensidad de la fuerza.....	14
Continuidad de la fuerza.....	15
5.3.2.2 Temporalidad del tratamiento.....	17
5.3.2.3 Modalidad de tratamiento.....	18
5.3.2.4 Tipos de movimiento.....	20
Movimientos críticos: Intrusión y torque.....	20
Movimientos moderados: Inclinação (tipping) y extrusión.....	22
Movimientos de bajo riesgo: Rotación y movimiento en masa.....	23
5.3.2.5 Elementos auxiliares del tratamiento.....	23
Elásticos intermaxilares.....	23
Dispositivos de anclaje temporal (TADs).....	24
6. DISCUSIÓN.....	25
6.1 Diagnóstico.....	25
6.2 Prevalencia.....	26
6.3 Factores de riesgo inherentes al paciente.....	28
6.4 Factores de riesgo inherentes al tratamiento ortodóncico.....	30
6.4.1 Magnitud y naturaleza de la fuerza ortodóncica.....	30
6.4.2 Temporalidad del tratamiento.....	32
6.4.3 Modalidad de tratamiento.....	33
6.4.4 Tipos de movimiento.....	35
6.4.5 Elementos auxiliares del tratamiento.....	36
7. CONCLUSIONES.....	37
8. REFERENCIAS.....	38

1. INTRODUCCIÓN

El tratamiento de ortodoncia consiste en la aplicación de fuerzas sobre los dientes y sus estructuras de soporte para producir movimientos dentarios, para ello requiere que el tejido óseo adyacente a la raíz dentaria se remodele, sin embargo, las fuerzas aplicadas suelen producir remodelación del cemento radicular.⁽¹⁾

El cemento adyacente a las áreas del ligamento periodontal sometidas a la fuerza ortodóncica de manera continuada es atacado por los osteoclastos que intervienen en la remodelación ósea de la zona, pudiendo provocar remodelación del cemento o reabsorciones radiculares externas desde leves a graves.⁽²⁾

La reabsorción radicular externa (RRE) es una secuela frecuente de lesiones o procesos inflamatorios que afectan el ligamento periodontal. Se caracteriza por la destrucción progresiva del cemento y la dentina radicular, especialmente en la región apical, lo que se traduce en una disminución de la longitud radicular.^(1,3,4)

En el contexto del tratamiento ortodóncico, la RRE inducida por ortodoncia constituye un efecto secundario prevalente. Como se mencionó anteriormente, esta entidad se produce como consecuencia de las fuerzas aplicadas durante el movimiento dentario y resulta difícil de predecir y prevenir. Este proceso, de naturaleza compleja e impredecible, puede comprometer la integridad estructural y la longevidad de los dientes, y en casos avanzados conducir a la pérdida irreversible de la pieza dental.^(3,5)

La magnitud de la RRE puede verse influenciada por múltiples factores, lo que convierte su predicción y prevención en un desafío relevante en ortodoncia. Desde una perspectiva clínica, la detección temprana y la identificación de los factores predisponentes asociados a su desarrollo son esenciales, considerando su irreversibilidad en estadios avanzados y su impacto clínico.^(5,6)

Dada su naturaleza multifactorial, que involucra tanto factores relacionados con el paciente como con el tratamiento, su reconocimiento resulta fundamental para optimizar la prevención, el diagnóstico precoz y el manejo durante el tratamiento ortodóncico, con el objetivo de minimizar posibles resultados adversos.^(4,5,6)

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar la evidencia científica sobre la reabsorción radicular externa inducida por el tratamiento ortodóncico, evaluando sus métodos diagnósticos, prevalencia y factores de riesgo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Describir las bases biológicas, los métodos de diagnóstico clínico y la prevalencia de la reabsorción radicular externa en la literatura actual.

Identificar los factores de riesgo inherentes al paciente y al tratamiento ortodóncico.

Asociar las variables inherentes al tratamiento en la severidad de la reabsorción radicular externa.

3. MÉTODO

El presente trabajo consiste en una monografía de revisión de tipo narrativa. Para delimitar la búsqueda de información, se estructuró la estrategia PICO (Población, Intervención, Comparación, Resultado) bajo los siguientes parámetros:

- **Población (P):** Pacientes sometidos a tratamiento ortodóncico.
- **Intervención (I):** Movimiento dentario ortodóncico / tratamiento ortodóncico.
- **Comparación (C):** No aplica.
- **Resultado / Outcome (O):** Reabsorción radicular externa (RRE).

Derivado de esta estrategia, durante los meses de enero y febrero de 2026, se llevó a cabo una búsqueda electrónica de la literatura científica en las bases de datos PubMed y BVS, acotando la selección inicial a artículos publicados en los últimos cinco años (período 2021-2026), sin restricción de idioma. Las estrategias de búsqueda combinaron los términos MeSH y DeCS: “*root resorption*”, “*external root resorption*”, “*orthodontic treatment*” y “*orthodontically induced root resorption*”, junto con sus equivalentes en idioma castellano, utilizando los operadores booleanos AND y OR.

La estrategia de búsqueda inicial arrojó un total de 66 artículos. Se preseleccionaron 22 artículos por título y luego de la lectura crítica de los textos completos, se descartaron 5 documentos que no cumplían con los objetivos de esta revisión, quedando 17 artículos relevantes para el tema y acordes con los objetivos del presente trabajo.

A partir del análisis de referencias de los artículos seleccionados, se realizó una búsqueda secundaria. Se sumaron 18 artículos debido a la necesidad de ir a la fuente original de determinados estudios y/o conceptos que surgen de referencias históricas o artículos publicados previo al año límite establecido en la búsqueda (2021).

Finalmente, la recolección de información se complementó mediante una búsqueda manual en la Biblioteca de la Facultad de Odontología de la Universidad de la República (Udelar), seleccionando 2 libros de referencia en la materia. En total se emplearon 37 referencias, entre artículos, documentos y libros para la realización de esta monografía (Fig. 1).

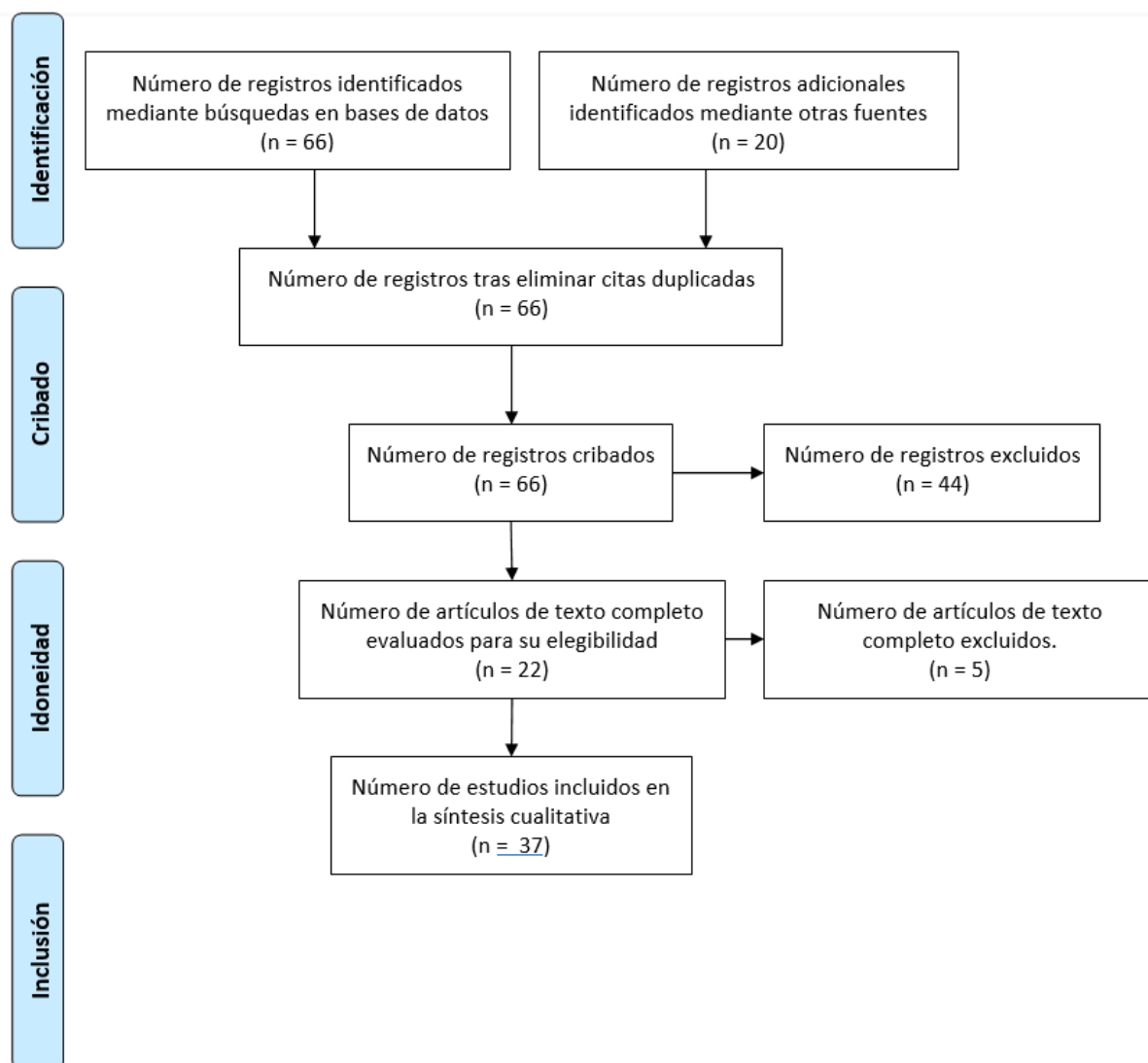


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de selección y exclusión de la literatura científica (basado en el modelo PRISMA).

4. ANTECEDENTES

El estudio de la RRE asociada al tratamiento ortodóncico se remonta a principios del siglo XX, encontrando sus primeras evidencias documentadas en 1914 por el Dr. Ottolengui. A través del uso inicial de la radiografía, este autor fue pionero en advertir sobre el potencial daño en las estructuras radicales de dientes permanentes.⁽⁷⁾

Sin embargo, no fue sino hasta la investigación de Ketcham en 1927 cuando se estableció la magnitud real del problema; su estudio sobre una muestra de 385 pacientes permitió confirmar que la pérdida de estructura apical no era un evento aislado, sino una complicación clínica frecuente derivada de las fuerzas mecánicas aplicadas.⁽⁷⁾

A partir de estos hallazgos, la comprensión del fenómeno evolucionó desde una observación puramente radiográfica hacia un análisis biológico más complejo. En este contexto, los trabajos de Andreasen en la década de 1980 resultaron fundamentales al proponer una clasificación basada en la etiopatogenia de la reabsorción. Esto permitió diferenciar entre los procesos de reabsorción superficial, por sustitución e inflamatoria, estableciendo que la pérdida de estructura radicular no responde únicamente a la presión mecánica aplicada, sino a un mecanismo inflamatorio mediado por el daño al ligamento periodontal.⁽⁸⁾

La literatura actual permite distinguir con precisión el origen y la localización del proceso de reabsorción inflamatoria. Si bien la reabsorción dentaria puede manifestarse de forma interna, externa o incluso combinada, es fundamental diferenciar sus etiologías. Mientras que la interna se da dentro de la estructura radicular, la reabsorción externa se origina en la superficie del cemento.^(4,9,10)

La RRE inducida por el tratamiento ortodóncico se define como un proceso inflamatorio de carácter estéril, derivado directamente de las fuerzas mecánicas aplicadas para lograr el movimiento dental. Biológicamente, la aplicación de dichas fuerzas altera el flujo sanguíneo en el ligamento periodontal, desencadenando una respuesta inflamatoria local necesaria para la remodelación ósea. Sin embargo, cuando esta respuesta sobrepasa los límites fisiológicos, se traduce en una pérdida de estructura dental irreversible (Fig. 2). Por lo tanto, se asume que toda RRE

vinculada al tratamiento ortodóncico posee una naturaleza inflamatoria, manifestándose predominantemente en el tercio apical de las piezas dentarias.^(4,5,9,10)

La susceptibilidad de la zona apical como el sitio de mayor incidencia para la RRE responde a una combinación de factores anatómicos, químicos y biomecánicos. Desde lo estructural, el tercio apical presenta una menor densidad mineral, con concentraciones más reducidas de calcio, fósforo y flúor en comparación con las regiones cervical y media. Además, el mayor contenido de cemento de tipo celular en esta superficie incrementa su vulnerabilidad ante procesos de reabsorción. A estas características se le suma el factor de distribución de cargas: al ser la región apical la zona de menor volumen de tejido mineralizado y blando del diente, la presión ejercida en este punto es significativamente mayor que en el resto de la raíz ante una misma fuerza ortodóncica.^(9,11,12)

La aplicación inicial de fuerza genera inevitablemente áreas de hialinización en el ligamento periodontal. Esta compresión localizada interrumpe la microcirculación vascular y provoca la degradación de las estructuras celulares en lugar de su proliferación. El estrés resultante puede inducir la apoptosis de los cementoblastos, dejando la superficie radicular desprotegida ante el ataque de los odontoclastos. De este modo, la extensión y severidad de este proceso no dependen de una única variable, sino que responden a una naturaleza multifactorial.^(3,6,9)

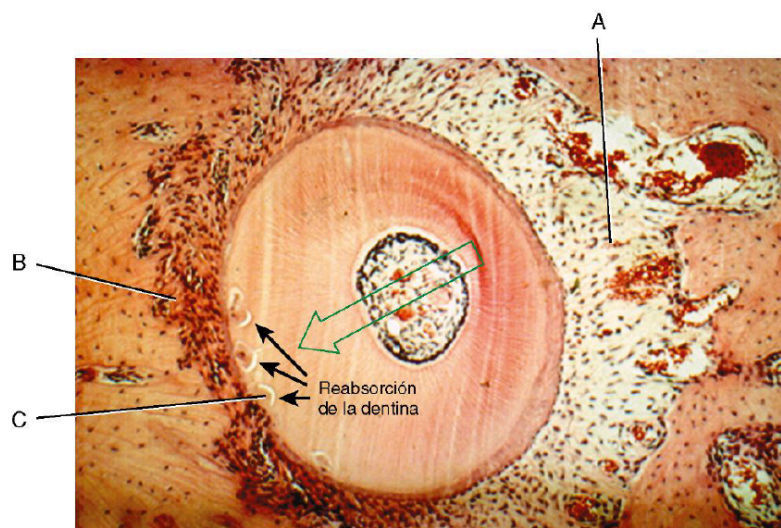


Figura 2. Corte coronal a través de la raíz de un premolar que está siendo desplazado hacia la izquierda (flecha). Obsérvese la zona de compresión del LPD a la izquierda y de tensión a la derecha. También puede verse a la derecha la dilatación de los vasos sanguíneos y la actividad osteoblástica (A). A la izquierda existen osteoclastos reabsorbiendo tejido óseo (B). También a la izquierda pueden verse zonas en las que comienza a reabsorberse la raíz (C).

Extraído de: Proffit W.R., Fields H., Sarver D., Ackerman J. Ortodoncia contemporánea. 5ta ed. Barcelona: Elsevier; 2014.

5. DESARROLLO

5.1 Diagnóstico

La literatura describe diversas herramientas para poder diagnosticar la RRE. Estas incluyen métodos de alta complejidad, como la microscopía óptica, la microscopía electrónica de barrido y la radiografía por sustracción, además de las modalidades de imagen convencionales y digitales utilizadas en el entorno clínico. Entre estas últimas, las radiografías periapicales (Fig. 3), las ortopantomografías (OPT) (Fig. 4) y la tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) constituyen los recursos principales para la identificación de estos procesos.^(10,13,14)



Figura 3. Radiografía periapical utilizada para el diagnóstico de reabsorción radicular externa.
Extraído de: Jiang RP, McDonald JP, Fu MK. Root resorption before and after orthodontic treatment: a clinical study of contributory factors. *Eur J Orthod.* 2010;32(6):693–7.



Figura 4. Ortopantomografía utilizada para el diagnóstico de reabsorción radicular externa.
Extraído de: Futyma-Gąbka K, Różyło-Kalinowska I, Piskórz M, Bis E, Borek W. Evaluation of root resorption in maxillary anterior teeth during orthodontic treatment with a fixed appliance based on panoramic radiographs. *Pol J Radiol.* 2022;87:e545-e548.

En ortodoncia, los estudios radiográficos más frecuentes para la planificación inicial son la OPT y la telerradiografía lateral. La OPT permite una visualización integral de las arcadas dentarias y la detección de cambios en la longitud radicular. Por su parte, para el seguimiento de la morfología radicular durante el tratamiento, la bibliografía destaca el uso de radiografías periapicales y de la CBCT.^(5,10,12,14)

La incorporación de la CBCT aporta datos volumétricos tridimensionales (3D) de alta resolución, lo que permite observar variaciones en el volumen dentario antes y después de la aplicación de fuerzas ortodónticas (Fig. 5).⁽⁴⁾

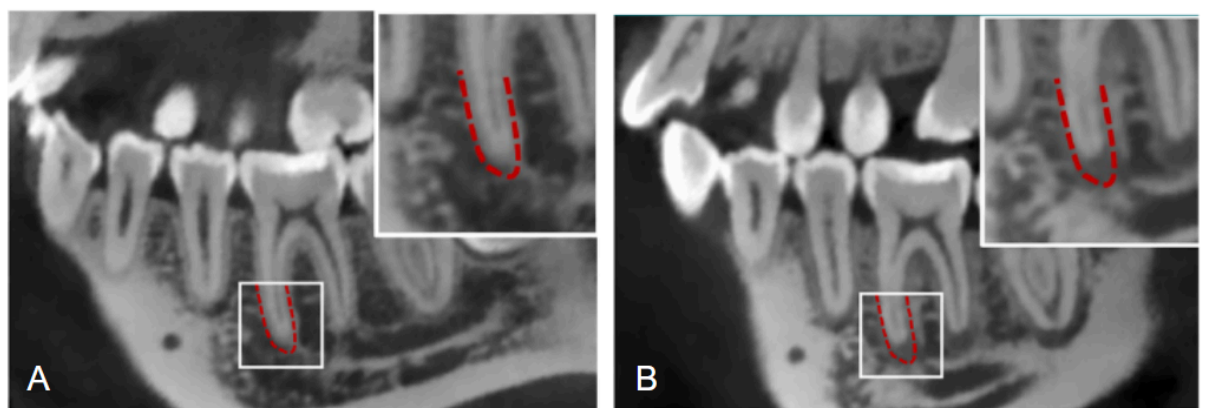


Figura 5. Tomografía computarizada de haz cónico utilizada para el diagnóstico de reabsorción radicular externa. Imagen pretratamiento (A). Imagen post tratamiento (B).

Extraído de: Liu Z, Ouyang Y, Lou Y, Han Y, Lu M, Yu M, Wang H, Ding W. Orthodontically induced root resorption in endodontically treated and vital teeth: a cone beam computer tomographic study. *Prog Orthod.* 2025 Feb 27;26(1):8.

Complementario e independientemente del método radiológico utilizado para la detección de la RRE, la cuantificación de la pérdida de estructura radicular se realiza mediante escalas estandarizadas que permiten categorizar la severidad del proceso. En este ámbito, la clasificación propuesta por Malmgren *et al.* en 1982 es uno de los sistemas más referenciados en la literatura para evaluar la RRE (Fig. 6). Este modelo permite asignar un grado numérico a la reabsorción detectada en las radiografías, facilitando la estandarización de los hallazgos clínicos.^(13,15,16)

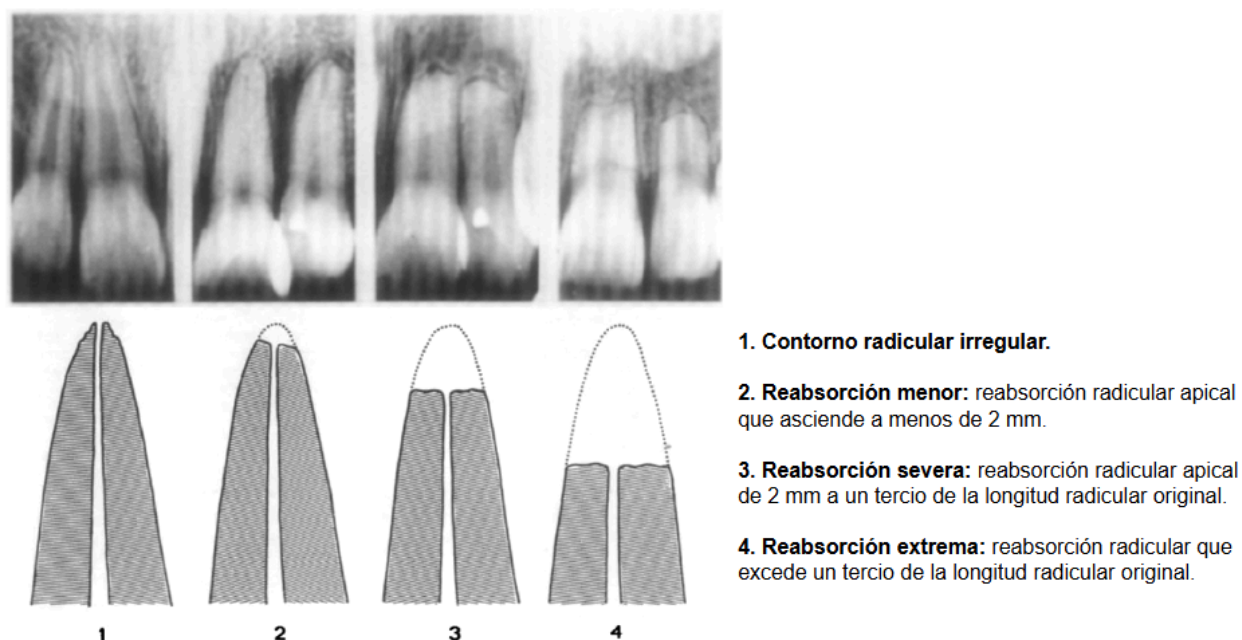


Figura 6. Índice de reabsorción radicular para la evaluación cuantitativa de la reabsorción radicular.
 Extraído de: Malmgren O, Goldson L, Hill C, Orwin A, Petrini L, Lundberg M. Root resorption after orthodontic treatment of traumatized teeth. *Am J Orthod Dentofacial Orthopedics*. 1982;82(6):487-91.

5.2 Prevalencia

La prevalencia de RRE en pacientes ortodóncicos varía ampliamente en la literatura, con reportes que oscilan entre el 20% y el 100% de los casos. Si bien se ha registrado una incidencia de formas severas del 14,8% en grupos específicos, la mayoría de los estudios sitúan la pérdida radicular mayor a 5 mm en un rango más estrecho, entre el 1% y el 5% de los pacientes (Tabla 1).^(11,14,17,18)

La mayoría de las afectaciones corresponden a grados leves o moderados. Se estima que entre el 40% y el 60% de los pacientes manifiestan estas formas, predominando los casos leves (28,4%) sobre los moderados-severos (7,8%). Esto da a entender que más de un tercio de los pacientes tratados con aparatología fija multibrackets presenta acortamientos radiculares de hasta 3 mm.^(11,12,14,18)

Cuando se separa el análisis de RRE entre piezas los datos indican que el 52,14% de los dientes evaluados muestran evidencia de reabsorción. Dentro de las piezas afectadas, la distribución de la severidad indica que las pérdidas menores a 1 mm representan el 15,84%, mientras que la gran mayoría de los casos, un 84,81%, se sitúa en rangos de hasta 3 mm. Por el contrario, las manifestaciones de reabsorción severa, con pérdidas superiores a los 4 mm, tienen una presencia significativamente menor, alcanzando apenas al 4,07% de los dientes afectados.⁽¹⁹⁾

Pacientes	Prevalencia general	20% - 100%
	Formas leves y moderadas	40% - 60%
	Casos leves	28,40%
	Acortamiento hasta 3 mm	> 33%
	Formas severas (> 5 mm)	1% - 5%
	Incidencia severa (máxima)	14,80%
Piezas dentarias	Afectación general	52,14%
	Pérdidas < 1 mm	15,84%
	Pérdidas hasta 3 mm	84,81%
	Pérdidas > 4 mm (severas)	4,07%

Tabla 1. Porcentajes de prevalencia y distribución de la reabsorción radicular externa (RRE) clasificados por pacientes y piezas dentarias.

Fuente: Elaboración propia con base en los datos de Bayir et al., Bhardwaj et al., Das Neves et al., Sameshima et al. y Zlate et al.

5.3 Factores de riesgo

Si bien la RRE se presenta como una complicación vinculada al tratamiento ortodóncico, su aparición no depende exclusivamente de la intervención clínica. Aunque su etiología y mecanismos aún no se han esclarecido por completo, existe un consenso en que su origen es multifactorial; esto implica una interacción crítica entre los factores inherentes al paciente y las variables inherentes al tratamiento ortodóncico propiamente dicho.^(4,20,21)

La susceptibilidad individual está determinada por factores específicos del paciente. Entre los factores demográficos se han reportado la edad y el género, complementados por la predisposición genética, específicamente el polimorfismo de la interleucina (IL)-1 β . Sumado a los anteriores se encuentran los factores anatómicos y clínicos como la morfología y forma de la raíz, el tamaño dental, la densidad y morfología ósea, la historia de traumatismos y los hábitos parafuncionales.^(4,5,14,17,20-23)

Por otro lado, el desarrollo y la severidad de la reabsorción dependen de factores relacionados con el tratamiento ortodóncico. Los elementos más significativos

incluyen la magnitud o intensidad de la fuerza aplicada, la duración del tratamiento activo, el tipo de aparato ortodóncico utilizado, el tipo y dirección de los movimientos dentales, el rango o cantidad de movimiento y desplazamiento, el uso de una biomecánica inadecuada y la decisión clínica de realizar o no extracciones dentarias.^(4,5,14,17,20-22,24)

5.3.1 Factores de riesgo inherentes al paciente

5.3.1.1 Variables demográficas

Existe información suficiente sobre la influencia de la edad y el género como variables demográficas base, no obstante, mientras la edad presenta estudios que demuestran su relación con la RRE, el género presenta resultados variados.^(4,5,14,17-22,25)

Estudios de alta precisión mediante segmentación automatizada en CBCT han demostrado que la edad es un factor crítico de la severidad de la RRE en casi todos los grupos dentarios, excepto en aquellos que presentaron un desarrollo radicular incompleto al inicio del tratamiento.⁽⁴⁾

Este hallazgo refuerza la evidencia de que los pacientes adultos (> 16-18 años) presentan una mayor tendencia hacia la RRE severa en comparación con pacientes jóvenes, cuya inmadurez apical actúa como un factor protector frente al acortamiento radicular.^(4,9,11,14,26,27)

En cuanto al género, la literatura científica actual presenta hallazgos dispares que impiden establecer un consenso definitivo. Por un lado, investigaciones como la de Lin *et al.* han reportado una mayor tasa de RRE en mujeres, con impactos estadísticamente significativos. Mientras que otros estudios han observado que los pacientes masculinos pueden experimentar mayor reabsorción, aunque sin alcanzar significancia estadística.^(4,11,14,17,19,25,27)

Debido a que la mayoría de las investigaciones no han logrado identificar una diferencia clínica consistente, y existen reportes que favorecen alternativamente a ambos géneros, la evidencia sugiere que es poco probable que el género influya de manera determinante en la aparición o severidad de la RRE.^(14,17,19,25,27)

5.3.1.2 Predisposición genética

La predisposición genética ha cobrado relevancia en investigaciones recientes, la evidencia disponible ha mostrado asociaciones entre los diferentes grados de RRE y un total de 16 variantes genéticas.^(9,11,18,20,21,25,28)

Uno de los más investigados es el polimorfismo de la interleucina (IL)-1 β como un mediador biológico que puede elevar el riesgo de RRE independientemente de la mecánica aplicada.^(9,11,18,20,21,25,28)

La Interleucina 1 beta (IL-1 β) es una citocina clave en la comunicación del sistema inmune y la regulación de la inflamación durante el movimiento dental. Los pacientes homocigotos para este alelo (quienes poseen dos copias iguales de dicha variante genética) presentan hasta un 95% de probabilidad de sufrir una reabsorción radicular mayor a 2 mm. Esto se debe a que esta citocina normalmente actúa como mensajero durante el proceso de inflamación y remodelación ósea, necesaria para el movimiento dentario, pero ciertas variantes genéticas pueden hacer que esa respuesta dé lugar a una reabsorción excesiva.^(9,25,28)

5.3.1.3 Características anatómicas y morfológicas

Desde una perspectiva estructural, la anatomía de los tejidos dentales y alveolares es determinante. La forma de la raíz (especialmente en casos de raíces dilaceradas, enanas o con formas anómalas) es considerada uno de los predictores de riesgo más críticos (Fig. 7). A su vez, los dientes unirradiculares tienen mayor riesgo de experimentar RRE que los dientes multirradiculares.^(1,9,11,14,15,17,18,20,21,26)

Estas variaciones radiculares se complementan con las características del hueso alveolar, donde factores como una densidad ósea elevada, la proximidad de los ápices a las tablas corticales o la presencia de un reborde alveolar delgado aumentan la susceptibilidad a la pérdida de estructura radicular.^(1,4,14,17,20,21,24)

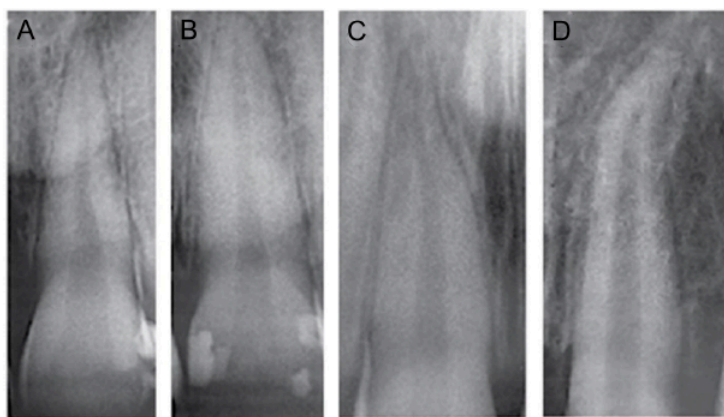


Figura 7. Clasificación de morfologías radiculares. Triangular (A), romboidal (B), pipeta (C) y dilacerada (D).

Extraído de: Shahrure B, Acar A. Evaluation of risk factors for severe apical root resorption in the maxillary incisors following fixed orthodontic treatment. *Turk J Orthod.* 2022;35(2):75-83.

5.3.1.4 Antecedentes y estado local de las piezas dentarias

El historial clínico previo al tratamiento configura el perfil de riesgo del paciente. Entre estos, el antecedente de trauma dental es un factor de especial cuidado, ya que los dientes traumatizados suelen presentar una respuesta inflamatoria más severa ante las fuerzas ortodóncicas.^(1,9,16-18,20,28)

Asimismo, la literatura señala que aquellos dientes traumatizados que ya presentan signos iniciales de RRE resultan significativamente más sensibles a una pérdida de material radicular aún mayor al ser sometidos a cargas mecánicas.^(9,16)

5.3.1.5 Hábitos parafuncionales

Finalmente, se han señalado ciertos hábitos parafuncionales (por ejemplo, hábitos de succión, empuje lingual o mordisqueo de uñas) como factores de riesgo. Cualquier hábito que aumente la carga sobre los dientes, sumado a las fuerzas ortodóncicas, puede provocar la reabsorción. Si bien algunas de estas conductas suelen eliminarse antes del tratamiento ortodóncico definitivo, hábitos menores como la onicofagia a menudo son ignorados en el diagnóstico inicial.^(9,20,23,26)

5.3.2 Factores de riesgo inherentes al tratamiento ortodóncico

5.3.2.1 Magnitud y naturaleza de la fuerza ortodóncica

Intensidad de la fuerza

Históricamente, la base del movimiento dentario ha estado ligada a la salud vascular. En la década de 1930 Schwarz propuso que la fuerza óptima para el desplazamiento dental, caracterizada por una respuesta celular máxima con preservación de la vitalidad tisular, debe situarse dentro de los límites de la presión capilar. En esta misma línea, Ricketts enunció que «el movimiento ortodóncico de los dientes se produce como resultado de la respuesta biológica y de la reacción fisiológica frente a las fuerzas aplicadas por nuestros procedimientos mecánicos...» y para que este movimiento se dé de manera efectiva es esencial preservar la integridad del ligamento periodontal, las células y los elementos neurales y vasculares que lo componen.^(1,9,29,30)

La respuesta de las piezas dentarias ante una fuerza depende en gran medida de su intensidad. Cuando las fuerzas son fuertes se genera una necrosis de los elementos celulares del ligamento periodontal; por el contrario, las fuerzas más suaves o también conocidas como ligeras, permiten que las células del ligamento periodontal sobrevivan y favorecen la remodelación del alvéolo dental.⁽¹⁾

Debido a que esta presión difiere en función al tamaño de superficie radicular involucrada y a los diferentes tipos de movimientos dentarios, se ha estudiado a lo largo de los años cuál es la magnitud ideal para cada uno de los movimientos en los diferentes grupos dentarios. A partir de estos estudios podemos definir que una fuerza ligera, ideal para los movimientos dentarios, es aquella cuya presión no supera los 200 g/cm² de superficie radicular enfrentada.^(1,30)

Autores como Brudvik y Rygh demostraron que las células involucradas en el proceso de reparación de las zonas afectadas por las fuerzas fuertes atacan el cemento adyacente creando defectos en la superficie radicular, acortando así la longitud neta de la pieza dentaria (Fig. 8).^(1,2,31)

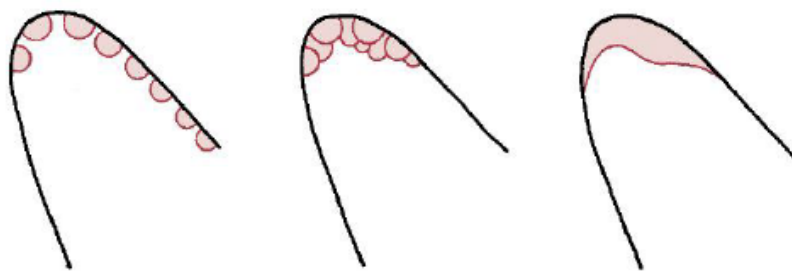


Figura 8. Representación del acortamiento radicular por confluencia de lagunas de reabsorción.
Extraído de: Proffit W.R., Fields H., Sarver D., Ackerman J. Ortodoncia contemporánea. 5ta ed. Barcelona: Elsevier; 2014.

En su revisión sistemática, Roscoe *et al.* compararon el efecto de aplicar fuerzas ortodóncicas ligeras de 25 g frente a fuerzas intensas de 225 g sobre la RRE. Al analizar los resultados, se constató una correlación positiva entre el uso de fuerzas intensas y un mayor incremento de la reabsorción radicular.⁽²⁹⁾

Esta comparación de fuerzas también fue evaluada en diferentes tipos de mecánicas por Nakano *et al.*, quienes estudiaron el comportamiento del primer molar maxilar bajo movimientos de inclinación mesio distal o *tipping* y movimiento en masa o *bodily movement*. Los autores demostraron que la RRE se elevó al incrementar la fuerza en ambos tipos de movimientos; sin embargo, en el grupo de inclinación el aumento fue marcadamente pronunciado cuando la fuerza pasó de 10 g a 25 g, posteriormente, la reabsorción radicular aumentó de manera gradual a medida que la fuerza se elevó hasta 100 g.⁽³²⁾

De la misma manera, en el estudio de Chan y Darendeliler se evaluaron premolares con indicación de extracción mediante la aplicación de fuerzas de inclinación (*tipping*). La muestra se dividió aleatoriamente en dos grupos experimentales: el grupo I, sometido a una fuerza ligera de 25 g y el grupo II bajo una fuerza pesada de 225 g, utilizando los premolares contralaterales como grupo control. Los autores reportaron que el volumen medio de RRE en el grupo de fuerza ligera fue 3,49 veces mayor que en el grupo control, y en el grupo de fuerza pesada fue 11,59 veces mayor que en el grupo control.⁽³³⁾

Continuidad de la fuerza

La eficacia del movimiento ortodóncico no depende simplemente de aplicar fuerza, sino de mantenerla durante el tiempo suficiente para activar la respuesta biológica. Esto no significa que la fuerza deba ser completamente continua sin interrupciones,

sino que debe estar presente durante varias horas al día, no solo por periodos muy breves.⁽¹⁾

Los estudios experimentales han demostrado que cuando la fuerza se mantiene aproximadamente durante 4 horas, comienzan a aumentar las señales internas que desencadenan la diferenciación celular necesaria para que ocurra el remodelado óseo y, en consecuencia, el movimiento dentario. Este movimiento puede darse cuando las fuerzas son aplicadas de manera continua o intermitentemente.^(1,6)

En este contexto, se define como fuerza continua aquella que mantiene un porcentaje apreciable de su magnitud original de manera sostenida en el tiempo; este es el objetivo clínico primordial de la aparatología fija multibrackets. Por el contrario, la fuerza intermitente se caracteriza por niveles de magnitud que descienden a cero cuando se retira el dispositivo y retornan a su nivel original al reinsertarlo. Un ejemplo representativo de esta última categoría son los alineadores invisibles, cuya activación depende del tiempo de uso del paciente.⁽¹⁾

Si bien ambos tipos de fuerzas logran conseguir movimientos ortodóncicos eficientes, se ha demostrado que una fuerza intermitente puede favorecer la proliferación celular en los tejidos de soporte durante los períodos en los que los niveles de fuerza descienden, lo que a su vez podría promover un mayor movimiento dentario y, posteriormente, resultar en una menor RRE.^(1,6,14)

En el meta análisis realizado por Darvizeh *et al.* se refuerza la diferencia clínica entre los sistemas de ortodoncia en cuanto a la continuidad de las fuerzas. Los resultados determinaron que la RRE es significativamente menor en pacientes tratados con alineadores. Estadísticamente, las fuerzas intermitentes de los alineadores mostraron una menor RRE en comparación con las fuerzas continuas, tanto al evaluarse en milímetros (diferencia media de 0,54 mm) como en términos porcentuales (diferencia media estandarizada de 0,46%).⁽⁶⁾

Entre la evidencia incluida, los autores sostienen que esta menor incidencia se debe a la naturaleza intermitente de las fuerzas, lo que facilita la reparación cementaria en comparación con las fuerzas continuas de la aparatología multibrackets.^(6,11)

De la misma manera en la revisión realizada por Quinatoa *et al.* se determinó que la diferencia entre la continuidad de las fuerzas influye directamente en la severidad de la RRE. Según los hallazgos, las piezas dentarias tratadas con alineadores

presentan niveles de daño menores, asociándose predominantemente con un grado 2 en la escala de Malmgren, mientras que la aparatología fija multibrackets se vio asociada al grado 3 de RRE, lo que implica una afectación más profunda de la estructura radicular.⁽²⁶⁾

5.3.2.2 Temporalidad del tratamiento

La duración total del tratamiento de ortodoncia es uno de los factores más asociados a la RRE y se considera como una variable determinante principalmente por el carácter acumulativo del proceso biológico involucrado. Una mayor duración del tratamiento implica una mayor duración en el tiempo de aplicación de fuerzas sobre las piezas dentarias.^(1,5,11,17,18,21,22,29)

La duración total de la fuerza, a menudo equivalente al tiempo de tratamiento, se considera en algunas investigaciones como un factor más crítico que la magnitud de la fuerza en relación con las reacciones tisulares adversas durante el tratamiento ortodóncico.^(11,33)

La literatura evidencia una relación directa entre el factor tiempo y la RRE. El estudio retrospectivo de Bayir *et al.* demostró una asociación estadísticamente significativa entre una mayor duración total del tratamiento ortodóncico y el desarrollo de RRE de cualquier grado. En concordancia con estos hallazgos, el estudio de Karimzada *et al.* también validó esta asociación positiva, posicionando al tiempo de tratamiento como una variable crítica en la aparición de la reabsorción.^(5,17)

En esta misma línea, Neves *et al.* (mediante radiografías periapicales) y Bhardwaj *et al.* (mediante CBCT), confirmaron la existencia de una relación directa entre la duración del tratamiento ortodóncico y el desarrollo de RRE. Ambos estudios aportan evidencia que vincula el factor temporal con la pérdida de longitud radicular, coincidiendo en que prolongar las fuerzas en el tiempo incrementa de forma significativa la aparición de esta patología.^(14,18)

En la revisión sistemática realizada por Roscoe *et al.* 10 artículos de los 21 incluidos analizaron específicamente la duración del tratamiento (el tiempo total de aplicación de la fuerza) como una variable relacionada con la RRE. Los autores reportaron que la mayoría de los artículos incluidos que evaluaron este factor

identificaron una correlación positiva significativa, concluyendo que a mayor tiempo de tratamiento, mayor es la severidad de la reabsorción.⁽²⁹⁾

Es fundamental distinguir que, si bien la mayoría de los pacientes ortodóncicos experimentan grados leves de reabsorción, el riesgo de desarrollar una RRE severa (aquella que compromete más de un tercio de la longitud de la raíz o genera una pérdida mayor a 4 mm) aumenta exponencialmente al superar ciertos umbrales temporales cuando se habla de la duración total del tratamiento. Es por ello que algunos investigadores definen a los tratamientos “prolongados” como aquellos que superan los 24 meses de aplicación activa de fuerzas.⁽²⁹⁾

Bajo esta premisa se llevó a cabo la investigación de Shahrure *et al.* en la que compararon un grupo de 90 pacientes con RRE severa frente a un grupo control. Los hallazgos confirmaron una diferencia significativa en la duración del tratamiento: el grupo con RRE severa estuvo sometido a una media de 3,7 años de tratamiento, en contraste con los 2,48 años del grupo control.⁽²¹⁾

De este modo, el factor tiempo no solo ha demostrado estar asociado a la aparición de la RRE, sino que además evidencia tener un efecto sobre la progresión y el agravamiento de este proceso, sobre todo en tratamientos prolongados. Esta correlación estadística entre la duración de tratamiento y el incremento en la severidad del daño radicular ratifica que la duración de la fase activa es un factor de riesgo crítico para la integridad de las piezas dentarias.^(22, 28, 29)

5.3.2.3 Modalidad de tratamiento

En los tratamientos ortodóncicos es necesario muchas veces realizar extracciones de piezas dentarias para resolver problemas de discrepancias volumétricas, compensar maloclusiones o resolver malposiciones dentarias. La decisión entre realizar o no extracciones dentales depende de los objetivos terapéuticos de cada caso clínico y se ha propuesto como un factor asociado a la prevalencia de la RRE.^(5,12,17,18,34)

A lo largo de los años se realizaron diversos estudios comparando la RRE entre casos con y sin extracciones, en los cuales la gran mayoría ha reportado una asociación estadísticamente significativa. Los autores describen que el tratamiento ortodóncico que incluye extracciones dentarias produce una mayor RRE en comparación con aquellos sin extracciones, lo cual se ha atribuido a las mecánicas

utilizadas durante el cierre de espacios, como por ejemplo la retrusión del sector anterior.^(5,9,11,12,17,18,21,34-36)

Este riesgo ha sido cuantificado en investigaciones como la de Fernandes *et al.*, quienes señalan que el tratamiento con extracciones es el principal factor de riesgo para la aparición de RRE. Específicamente, el estudio concluye que la probabilidad de desarrollar una RRE ≥ 2 mm es un 70% mayor en aquellos pacientes tratados con extracción de premolares.⁽³⁴⁾

Además de la evidencia que señala a los tratamientos con extracciones como un factor de riesgo para la aparición de la RRE, se ha investigado si las extracciones actúan como un factor agravante, es decir, que aumenta la severidad del daño radicular, pudiendo asociarse más a los tipos de reabsorción moderada y severa.^(12, 22)

El estudio de Peker *et al.*, mediante el análisis de la distribución del grado de RRE evidenció que el 46,3% de las piezas dentarias en el grupo con extracciones no presentó RRE, mientras que el 25,6% mostró una reabsorción leve, el 19,2% moderada y el 8,9% severa. En contraste, en el grupo sin extracciones, el 65,4% de los dientes permaneció sin alteraciones, con un 20% de reabsorción leve, un 12,2% moderada y sólo un 2,3% de nivel severo. Estas diferencias establecieron una correlación estadísticamente significativa entre el tipo de tratamiento (con o sin extracciones) y el grado de afectación radicular ($p < 0,001$).⁽¹²⁾

Estos hallazgos indican que el tratamiento con extracciones no solo se asocia a una mayor frecuencia de RRE, sino también a una mayor severidad de las reabsorciones, evidenciada por el incremento de casos moderados y severos en este grupo. Esto sugiere que la magnitud del movimiento dentario asociado al cierre de espacio en las extracciones podría influir en la progresión del daño radicular.⁽¹²⁾

Las extracciones planificadas durante el tratamiento pueden involucrar a los premolares, incisivos y molares, dependiendo de cada caso clínico. Mientras algunas investigaciones sugieren que todos los casos con extracciones (independientemente de cual sea el grupo dentario que se extrae) han demostrado una asociación con la RRE en mayor o en menor medida, otros autores enfatizan que la asociación depende del patrón de extracciones realizado, la magnitud del movimiento dentario involucrado y la presencia o severidad del apiñamiento inicial.^(9,22,36)

En este contexto, se ha observado una variabilidad significativa según el patrón de extracción del tratamiento. Patrones que incluyen la extracción de cuatro premolares, dos premolares mandibulares, un incisivo mandibular o extracciones asimétricas han mostrado niveles de RRE comparables entre sí. Por el contrario, los casos que involucran únicamente los primeros premolares maxilares tienden a presentar valores de RRE más bajos.^(9,36)

Aunque muchos estudios asocian las extracciones con un mayor riesgo de RRE, esta relación parece no ser tan lineal. La evidencia sugiere que el daño radicular o el grado de reabsorción depende más de factores específicos del caso, principalmente la severidad del apiñamiento inicial, qué dientes se deciden extraer y a las mecánicas utilizadas durante el cierre de espacios. Diferentes autores destacan que estos puntos son clave porque definen la cantidad de movimiento a realizar, la magnitud de las fuerzas a utilizar y cuántos meses durará el tratamiento activo.^(5,9,11,18,21,22,34,36)

5.3.2.4 Tipos de movimiento

La dirección y el tipo de movimiento ortodóncico son determinantes críticos en la aparición de la RRE. Aunque la evidencia afirma que no existe un movimiento dentario completamente seguro, la literatura permite estratificar el riesgo en función de la concentración de estrés en el ápice radicular y la magnitud del desplazamiento apical, factores que se relacionan directamente con la aparición y la severidad de la RRE.⁽⁹⁾

Movimientos críticos: Intrusión y torque

Estos movimientos representan el mayor riesgo biomecánico debido a la focalización de fuerzas en zonas reducidas del periodonto apical.^(9,11)

La intrusión implica tener que desplazar a la pieza dental hacia adentro del alvéolo, movimiento que históricamente había sido considerado imposible de realizar. Actualmente se conoce que es viable mediante la aplicación de fuerzas controladas y de baja intensidad que van desde 10 a 20 g. Este enfoque preventivo es crítico, dado que el vector intrusivo concentra toda la magnitud de la carga sobre el ápice dentario; una zona con una superficie de resistencia limitada que demanda un manejo adecuado de la presión para preservar la integridad radicular (Fig. 9).^(1,9,11)

Es considerado el movimiento más relacionado al desarrollo de RRE ya que al dirigir la fuerza hacia el ápice, se produce una concentración masiva de presión que puede exceder la presión capilar óptima (20-26 g/cm²), generando isquemia y zonas de hialinización. Sumado a esto, la implementación de dispositivos de anclaje temporal esqueléticos (mini implantes y mini placas) ha incrementado la vigilancia sobre este movimiento, ya que permiten una "intrusión absoluta" que eleva significativamente el riesgo de RRE. ^(1,9,11,30)

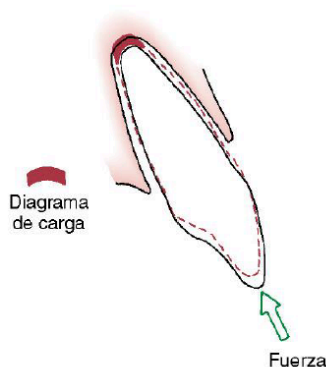


Figura 9. Representación del movimiento de intrusión y la concentración de cargas a nivel apical.
 Extraído de: Proffit W.R., Fields H., Sarver D., Ackerman J. Ortodoncia contemporánea. 5ta ed. Barcelona: Elsevier; 2014.

El movimiento de torque o inclinación vestibulo-lingual, representa la modalidad más simple de movimiento dentario y se genera mediante la aplicación de una fuerza única sobre la corona. Durante este proceso, el diente pivota sobre su centro de resistencia, lo que provoca una compresión del ligamento periodontal en dos puntos críticos: cerca del ápice (en el mismo lado de aplicación de la fuerza) y en la cresta alveolar del lado opuesto (Fig. 10). Debido a que la presión se focaliza intensamente en estas áreas reducidas, es vital emplear fuerzas ligeras, generalmente no superiores a los 50 g en dientes unirradiculares. ⁽¹⁾

Específicamente, dentro de los movimientos de torque, el realizado hacia lingual desplaza el ápice contra la cortical ósea, lo que está fuertemente correlacionado con la RRE. Estudios volumétricos de diagnóstico de reabsorción en CBCT confirman que las zonas de alta presión en el tercio apical, específicamente en las superficies linguales durante este movimiento, son las más susceptibles a la pérdida de tejido radicular. ^(9,24,33)

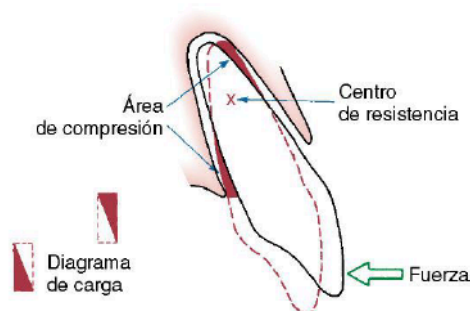


Figura 10. Representación del movimiento de torque y la distribución de cargas a nivel radicular. Extraído de: Proffit W.R., Fields H., Sarver D., Ackerman J. Ortodoncia contemporánea. 5ta ed. Barcelona: Elsevier; 2014.

Movimientos moderados: Inclínación (*tipping*) y extrusión

En el movimiento de *tipping* o inclinación mesio distal, la corona y la raíz dentaria se mueven en direcciones opuestas. En este movimiento, la fuerza se concentra en el margen cervical y el ápice radicular en lados opuestos.⁽¹⁾

Se ha observado que la RRE aumenta de forma pronunciada incluso con incrementos leves de fuerza (de 10 a 25 g) en estudios clínicos realizando movimientos de inclinación. Además, en casos de extracciones donde se realiza el cierre de espacios, en lugar de un movimiento en masa (deseado) se genera una inclinación, este *tipping* no controlado aumenta el rango de movimiento de los ápices, incrementando el riesgo de RRE.^(17,32)

En la investigación de Nakano *et al.* en donde se midió la RRE comparando los movimientos de *tipping* y *bodily movement* (movimiento en masa) se evidenció que la reabsorción en el grupo de *tipping* fue aproximadamente el doble que en el grupo de movimiento en masa.⁽³²⁾

La extrusión implica mover verticalmente la pieza dentaria hacia afuera del alvéolo controladamente. Desde un plano estrictamente teórico, el movimiento de extrusión no debería generar áreas de compresión en el ligamento periodontal, sino únicamente fuerzas de tensión. Sin embargo, en la práctica clínica, es frecuente que se produzca una inclinación del diente, lo que inevitablemente da lugar a zonas de presión. Aun si se lograra una extrusión pura, el empleo de cargas excesivas resultaría contraproducente, ya que las fuerzas de tensión intensas pueden desencadenar procesos inflamatorios que den lugar a la RRE.^(1,9)

Movimientos de bajo riesgo: Rotación y movimiento en masa (*bodily movement*)

El movimiento de rotación se identifica como el vector que causa menor RRE, debido a que las fuerzas aplicadas se distribuyen de manera más circular a lo largo del ligamento sin desplazar el ápice de su eje central de forma lineal.^(1,9)

A diferencia de la inclinación, el movimiento en masa o traslación, implica un desplazamiento paralelo de la corona y la raíz. Al actuar un sistema de fuerzas equilibrado, la presión se reparte equitativamente a lo largo de todo el ligamento periodontal, desde el borde del reborde alveolar hasta el ápice (Fig. 11). A pesar de que este es uno de los movimientos que requiere una fuerza mayor (70 a 120 g), esta distribución uniforme es lo que minimiza la concentración de fuerzas en el ápice, reduciendo así la susceptibilidad a la RRE.^(1,11,32)

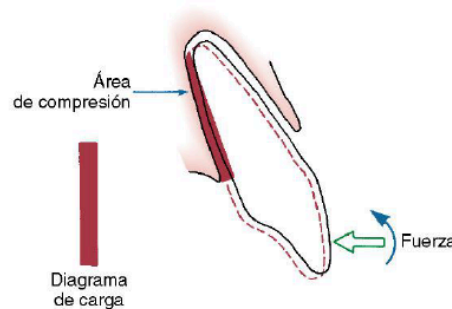


Figura 11. Representación del movimiento en masa y la distribución de cargas a nivel radicular.
Extraído de: Proffit W.R., Fields H., Sarver D., Ackerman J. Ortodoncia contemporánea. 5ta ed. Barcelona: Elsevier; 2014.

5.3.2.5 Elementos auxiliares del tratamiento

Dentro de la mecánica del tratamiento ortodóncico, el uso de elementos complementarios ha sido objeto de debate en relación con la RRE. Esto se debe a que usualmente son utilizados para potenciar los movimientos dentarios, lo que implica una aplicación extra de fuerzas.⁽¹¹⁾

Elásticos intermaxilares

A pesar de ser una herramienta común en la corrección de maloclusiones y se les han atribuido muchas funciones en la biomecánica del tratamiento a lo largo de los años, no existe evidencia actual que identifique el uso de elásticos intermaxilares como un factor de riesgo directo para la aparición de la RRE. Su rol en la

etiopatogenia de la reabsorción se considera, hasta el momento, no significativo en comparación con otros factores biomecánicos primarios.⁽¹¹⁾

Dispositivos de anclaje temporal (TADs)

El surgimiento de los dispositivos de anclaje esquelético en los tratamientos ortodóncicos revolucionó la biomecánica de los tratamientos de ortodoncia. Ya sean mini tornillos o mini placas, la ventaja principal que ofrecen es poder disponer de un anclaje no dentario para evitar los movimientos no deseados.^(1,11)

Estos dispositivos actúan de forma favorable al permitir un control tridimensional del movimiento, facilitando el movimiento en masa (traslación) en direcciones que antes eran complejas, como la distalización de arcadas completas. En este tipo de movimientos, al promover un desplazamiento corporal donde la carga se distribuye uniformemente en el ligamento periodontal, el riesgo de RRE se mantiene controlado (Fig. 12).⁽¹¹⁾

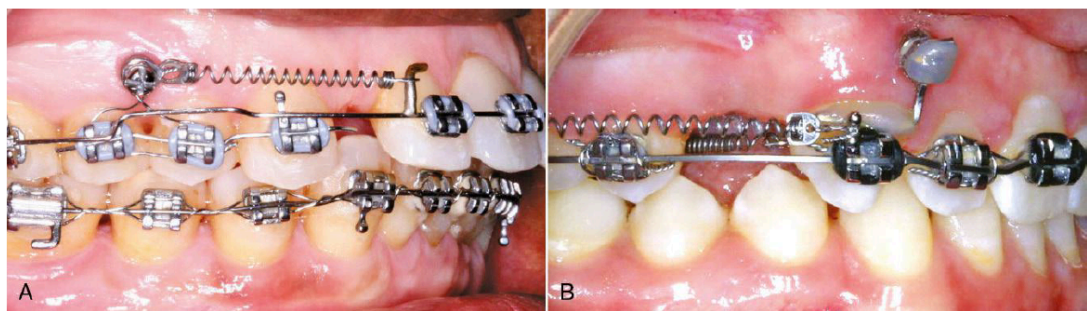


Figura 12. Mecánicas de movimientos dentarios en masa con anclaje óseo (mini tornillos).
Extraído de: Proffit W.R., Fields H., Sarver D., Ackerman J. *Ortodoncia contemporánea*. 5ta ed. Barcelona: Elsevier; 2014.

No obstante, los TADs se consideran un factor de riesgo cuando se utilizan para realizar movimientos como los de intrusión pura o absoluta. Debido a que estos dispositivos aceptan una aplicación de fuerzas mayores a las realizadas sobre anclaje dentario, permiten aplicar vectores intrusivos directos y continuos sobre varias piezas dentarias simultáneamente (Fig. 13). Según la evidencia actual, se deben utilizar controlando las fuerzas aplicadas, ya que se ha demostrado que el riesgo de RRE aumenta significativamente bajo estas condiciones.^(11,37)

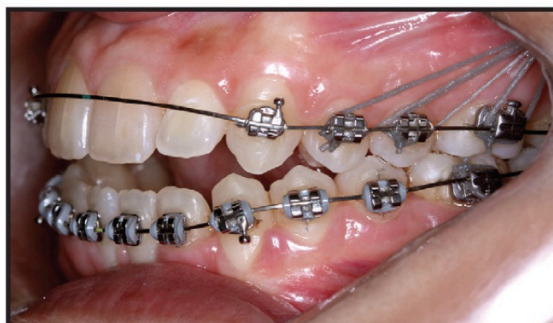


Figura 13. Mecánica de intrusión dentaria con anclaje óseo (mini placas).

Extraído de: Sousa RLS, Ertty E, Portes MIP, Meloti F, Cardoso MA. Miniplate Anchorage for Correction of Skeletal Anterior Open Bite in an Adult. *J Clin Orthod.* 2021;55(3):164-74.

6. DISCUSIÓN

6.1 Diagnóstico

Al analizar los métodos diagnósticos utilizados para detectar y medir la RRE, podemos observar que hay una gran diferencia entre las herramientas que se usan para investigar y lo que realmente podemos hacer en la práctica clínica. Técnicas como los microscopios ópticos o electrónicos son muy utilizados para investigaciones que se enfocan en el proceso histológico de la reabsorción, pero son imposibles de aplicar en nuestros pacientes.⁽¹³⁾

La verdadera discusión se centra, en este caso, en la elección y el uso estratégico de las tres modalidades de estudios paraclínicos más utilizados comúnmente. La OPT, la radiografía periapical y la CBCT.^(10,13,14)

La OPT y la telerradiografía lateral se mantienen como el estándar de oro para la planificación inicial en ortodoncia debido a su visión panorámica y accesibilidad. Sin embargo, la OPT como sabemos presenta ciertas limitaciones. Al ser una imagen bidimensional, sufre de distorsión, magnificación y superposición de estructuras anatómicas, especialmente en el sector anterior. Por este motivo, es que algunos investigadores como Das Neves *et al.* y Fernandes *et al.* eligen en su lugar una serie de radiografías periapicales, ya que sus trabajos se enfocaron específicamente en medir la RRE en el sector anterior. Estas placas, mediante técnicas de paralelismo, ofrecen una reproducción más fiel y con menor distorsión de la zona apical.^(10,12,14,18,34)

El mayor avance tecnológico en el diagnóstico lo representa la CBCT. Al aportar datos volumétricos tridimensionales de alta definición, elimina los problemas de superposición y permite cuantificar con precisión exacta el volumen dentario perdido. A pesar de esta superioridad diagnóstica innegable, es necesario contrastar su uso desde una perspectiva ética y de costo-beneficio. Bajo el principio ALADA (*As Low As Diagnostically Achievable*), no se justifica la indicación rutinaria o indiscriminada de tomografías para todos los pacientes ortodóncicos con el único fin de monitorear la RRE.^(5,10,17)

Diferentes investigadores clínicos argumentan que la CBCT debe reservarse como un recurso de segunda línea, indicado específicamente ante la sospecha clínica o radiográfica (detectado en OPT) de reabsorciones moderadas o severas.^(4,5,10,17)

Es debido a estas limitaciones éticas y de dosis de radiación que autores como Karimzada *et al.*, Bayir *et al.* y Futyma-Gąbka *et al.* sostienen que, al tratarse de estudios previos al tratamiento o de seguimiento en poblaciones donde no existe una sospecha clínica previa de RRE, el uso de la CBCT violaría el principio de optimización radiológica. Por lo tanto, justifican el empleo de registros 2D convencionales como una alternativa clínicamente viable, accesible y éticamente segura para resguardar la integridad del paciente sin comprometer la detección y el diagnóstico de la RRE.^(5,10,17)

Independientemente del método diagnóstico elegido, la literatura demuestra la necesidad de contar con un lenguaje universal para cuantificar y clasificar la reabsorción. La clasificación de Malmgren de 1982 aparece repetidamente como la herramienta más práctica y vigente. Si bien fue diseñada para la interpretación en 2D, su sencillez basada en una escala de grados numéricos permite estandarizar los hallazgos, transformando las observaciones clínicas en datos cuantificables, comparables y extrapolables; algo especialmente relevante para la investigación y el seguimiento longitudinal de los pacientes.^(13,15,16)

6.2 Prevalencia

Al analizar los estudios sobre la RRE en ortodoncia, lo primero que llama la atención es lo mucho que varían los datos sobre qué tan frecuente es, con reportes que exponen prevalencias desde el 20% hasta el 100% de los casos. Esta variación no debe interpretarse como una contradicción, sino como un reflejo de las diferencias en los métodos de diagnóstico, la sensibilidad de las herramientas de

análisis de imagen y los criterios empleados en cada investigación. Los estudios que reportan prevalencias cercanas al total de la muestra suelen considerar cualquier pérdida de longitud radicular, por mínima que sea.⁽¹⁴⁾

Al analizar estos datos desde una perspectiva clínica, queda claro que al establecer un límite mínimo de pérdida radicular para el diagnóstico, los resultados entre las investigaciones se vuelven más consistentes, evidenciando que un poco más del 30% de los pacientes sometidos a tratamientos de ortodoncia presentará acortamientos de hasta 3 mm.^(12,14,18)

Un aspecto fundamental a destacar, y que aporta predictibilidad al tratamiento, es el consenso entre los diferentes autores respecto a la severidad de la patología. A pesar de la alta prevalencia global, existe un acuerdo en que la gran mayoría de las reabsorciones corresponden a grados leves o moderados, estimándose que entre el 40% y el 60% de los pacientes manifiestan estas formas, con un claro predominio de los casos leves (28,4%) sobre los moderados-severos (7,8%).^(11,14)

Basándonos en estos datos, se puede suponer que el riesgo real de comprometer la viabilidad a largo plazo de las piezas dentarias es estadísticamente bajo. Mientras que las variaciones leves representan la norma, las manifestaciones severas con una pérdida radicular mayor a 5 mm se restringen a un pequeño margen de los pacientes, que se sitúa entre el 1% y el 5%.^(11,18)

Si bien el estudio de Bayir registra una incidencia de formas severas notablemente más alta, llegando al 14,8%, este hallazgo debe interpretarse en base a sus decisiones metodológicas. Por un lado, los autores clasificaron como "severo" cualquier acortamiento a partir de los 2 mm (grados 2 y 3 de reabsorción) un umbral más bajo que el de otros autores. Por otro lado, su muestra está condicionada por factores de riesgo inherentes al tratamiento, mostrando una correlación estadísticamente significativa con tratamientos basados en extracciones, tiempos terapéuticos prolongados y grandes desplazamientos dentarios. Lo que en conjunto aumenta el porcentaje final expuesto por los autores.⁽¹⁷⁾

Finalmente, hay que distinguir el impacto de la RRE según si fue medida globalmente o a nivel dentario individual. Al pasar al análisis por piezas dentarias, los datos muestran que el 52,14% de las piezas evaluadas tiene algún grado de reabsorción. Aunque este porcentaje es alto, la gravedad de la reabsorción es menor, un 15,84% son pérdidas de menos de 1 mm y el 84,81% se encuentra en rangos de hasta 3 mm. Sumado a esto, las reabsorciones mayores a 4 mm tienen

una presencia muy baja, alcanzando sólo al 4,07% de los dientes. Esto evidencia que si bien la RRE se detecta con mucha frecuencia al revisar pieza por pieza, su severidad es en realidad baja.⁽¹⁹⁾

6.3 Factores de riesgo inherentes al paciente

Al analizar la susceptibilidad individual, la literatura revela que no todos los factores impactan con la misma severidad ni cuentan con el mismo respaldo de evidencia. Existe una clara controversia, por ejemplo, en torno a las variables demográficas como la edad y el género.

El análisis de la edad de autores como Lin *et al.* y Sameshima *et al.*, entre otros, revela un consenso que vincula a los pacientes adultos con un riesgo significativamente mayor de sufrir RRE severa. Sin embargo, es importante destacar que la clave de esta susceptibilidad no es la edad cronológica en sí misma, sino el estado dentario y del ligamento periodontal. La falta del completo cierre apical en determinadas piezas de los pacientes jóvenes actúa como un factor protector; el ápice abierto tolera mejor las fuerzas ortodóncicas que un ápice completamente cerrado. A partir de estos hallazgos podemos interpretar que la evaluación del riesgo de RRE debe guiarse por la edad madurativa dentaria o de maduración radicular visible en los estudios pretratamiento, y no exclusivamente por la edad del paciente.^(4,9,27)

Una situación opuesta ocurre al discutir la relación del género con la reabsorción, donde la literatura se encuentra dividida y carece de consenso. Mientras que la mayor parte de los estudios no han evidenciado una correlación, autores como Bayir *et al.* y Sameshima *et al.* encuentran valores más altos en hombres y autores como Lin *et al.* reportan mayor RRE en mujeres. Esta falta de coincidencia sugiere que el género no influye de manera directa en la reabsorción, si existiera un factor biológico la evidencia sería mucho más clara y consistente. Lo más probable es que estas variaciones en los resultados respondan a otros factores que se cruzan en la muestra, ya sean inherentes al paciente o al tratamiento ortodóncico.^(4,11,14,17,19,25,27)

Uno de los factores más estudiados y que cuenta con más evidencia científica es el de la predisposición genética. Saber que hay pacientes que presentan altas probabilidades de sufrir reabsorciones explica por qué algunos casos presentan pérdidas radiculares ante fuerzas mínimas. Un riesgo del 95%, como el encontrado originalmente por Al-Qawasmi *et al.* y documentado en el metanálisis de Segal *et*

al., justificaría el uso de estas pruebas antes de iniciar el tratamiento, pero hoy en día no están al alcance del profesional. Sabemos entonces que la susceptibilidad genética existe, pero dependemos de que la RRE se manifieste para poder detectarla.^(9,11,18,20,21,25,28)

En cuanto a las características anatómicas y morfológicas de las piezas dentarias, la mayoría de los estudios coinciden en que los dientes unirradiculares tienen mayor riesgo de experimentar RRE que los dientes multirradiculares, probablemente debido a la mayor superficie radicular de los molares para la disipación de fuerzas y a que los dientes del sector anterior en ocasiones son desplazados distancias mayores durante el tratamiento, en comparación con los dientes posteriores. Esto, y las anomalías radiculares, se suman al entorno óseo de alta densidad o corticales estrechas que limitan el espacio o dificultan los movimientos.^(4,9,11,14,15,17,18,20,21,25,26)

Históricamente se ha creído, basándose principalmente en datos observacionales y estudios en animales, que todos los dientes con antecedentes de trauma son más susceptibles a la RRE que los dientes sanos. Sin embargo, estudios como el de Malmgren *et al.* han demostrado que el pronóstico depende de la condición específica del diente. Según su estudio, los dientes con traumatismo leve o moderado que mantienen un ligamento periodontal intacto pueden ser movidos con un riesgo comparable al de dientes sanos. En este sentido, los dientes traumatizados que no muestran signos iniciales de reabsorción tienden a comportarse de manera similar a los no lesionados.^(9,16)

Respecto a los hábitos parafuncionales, la discusión clínica suele centrarse en el riesgo de aquellas conductas que a menudo son ignoradas en el diagnóstico, como el mordisqueo de uñas. Al evaluar este factor, Odenrick *et al.* estudiaron su efecto sobre la RRE durante el tratamiento de ortodoncia y reportaron que, de una muestra de 1025 pacientes de 13 a 15 años, 151 (14,3 %) fueron clasificados como mordedores severos y presentaron mayor pérdida radicular que los demás. Estos datos sugieren que el agregado de un trauma de baja intensidad pero de alta frecuencia y duración prolongada potencia el riesgo de desarrollar RRE.⁽²³⁾

6.4 Factores de riesgo inherentes al tratamiento ortodóncico

6.4.1 Magnitud y naturaleza de la fuerza ortodóncica

Al contrastar la evidencia actual con la información histórica, se evidencia que la eficiencia del movimiento ortodóncico depende de un equilibrio crítico. La fuerza debe ser lo bastante alta para activar el metabolismo celular, pero lo suficientemente controlada para no ocluir la microcirculación del ligamento periodontal. En este contexto, el factor determinante no es la fuerza propiamente dicha sino la presión resultante por unidad de superficie radicular que se opone a esa fuerza. Debido a que esta presión difiere en función al tamaño de la superficie radicular involucrada y a los diferentes tipos de movimientos dentarios, el análisis debe enfocarse en los procesos que se inician cuando se supera ese umbral.^(1,30)

Las fuerzas fuertes, aquellas cuya presión supera los 200 g/cm² de superficie radicular enfrentada, generan una compresión del ligamento periodontal que interrumpe totalmente el aporte sanguíneo y provoca inevitablemente una necrosis aséptica de los elementos celulares del ligamento periodontal. A estas zonas se las conoce como *hialinizadas* debido a su aspecto histológico acelular. El fenómeno de la RRE ocurre durante la fase de eliminación de ese tejido necrótico.^(1,30)

Esta relación directa entre la magnitud de fuerzas aplicadas y el daño radicular encuentra un fuerte respaldo científico en la revisión sistemática de Roscoe *et al.* Dicha revisión incluyó 12 investigaciones con un nivel de evidencia moderado a alto, en donde todos coinciden en la misma correlación positiva. Esta información demuestra que el impacto de las fuerzas intensas sobre la RRE no es un hallazgo aislado, sino un fenómeno predecible.⁽²⁹⁾

Los hallazgos de Nakano *et al.* introducen otra variable clínica del tratamiento, la influencia del tipo de movimiento en la distribución de la fuerza. El hecho de que la RRE muestre un incremento tan drástico al elevar la fuerza de 10 a 25 g en la mecánica de inclinación mesio distal confirma que la distribución de la fuerza es tan determinante como la magnitud total de la misma. Debido a que el *tipping* produce un movimiento de báscula de la pieza dentaria sobre su centro de resistencia, las presiones se concentran de forma desigual en zonas más reducidas, afectando principalmente al ápice. En consecuencia, una fuerza que clínicamente se

considera ligera (25 g) es capaz de sobrepasar el umbral de presión capilar en el ápice, actuando como una fuerza pesada que desencadena de forma temprana el proceso de reabsorción.⁽³²⁾

Al analizar los datos de Chan y Darendeliler, el impacto real de las fuerzas pesadas se ve claramente en la cuantificación del volumen de las lagunas de RRE medidas con CBCT. Pasar de un volumen de $16,77 \times 10^6 \mu\text{m}^3$ en el grupo control a $58,69 \times 10^6 \mu\text{m}^3$ con fuerza ligera, y finalmente saltar a $194,58 \times 10^6 \mu\text{m}^3$ con una fuerza de 225 g, demuestra que la RRE no aumenta de forma lineal sino que se dispara. Este salto en los volúmenes confirma que, al superar el límite de fuerza, la zona de hialinización en el ligamento periodontal es mucho más extensa y esa mayor pérdida de tejido radicular es la consecuencia de una respuesta celular más agresiva.⁽³³⁾

En cuanto a la continuidad de las fuerzas, la literatura evidencia que el factor clave en la reducción de la RRE no es la ausencia de movimiento, sino la presencia de períodos de descanso tisular. La diferencia clínica encontrada entre los sistemas de ortodoncia se basa en cómo sus mecánicas afectan al ligamento periodontal. Mientras que la aparatología fija ejerce una presión constante que puede perpetuar la isquemia, la fuerza intermitente de los alineadores presenta períodos sin carga que facilitan la reparación radicular.^(6,11)

Este beneficio biológico explica los resultados expuestos en las investigaciones más recientes. En el meta análisis de Darvizeh *et al.* se analizaron 10 artículos con un total de 575 pacientes en donde se comparó el impacto de los alineadores frente a la aparatología fija multibrackets durante un seguimiento promedio de 22 meses. El hecho de que reportaran una disminución de la RRE de 0,54 mm a favor de los alineadores demuestra que los momentos de desactivación de la fuerza permiten una regeneración del tejido antes de que la RRE progrese. Esto se debe a que el descenso de la fuerza a cero estimula la proliferación celular, contrarrestando el proceso de reabsorción que caracteriza a las fuerzas continuas.^(1,6,14)

Este comportamiento de las fuerzas también se refleja en la gravedad del daño. Al analizar los resultados de Quinatoa *et al.* bajo la escala de Malmgren, se confirma que la fuerza intermitente se asocia con un menor riesgo de desarrollar lesiones severas.⁽²⁶⁾

6.4.2 Temporalidad del tratamiento

Al analizar el impacto del tiempo total de tratamiento en la RRE, la evidencia disponible cuenta con un gran sustento, pero presenta ciertos matices que deben discutirse. Por un lado, la asociación positiva reportada por Bayir *et al.* cuenta con un alto poder estadístico debido al tamaño de su muestra (1356 pacientes), que se ve respaldada por los 503 pacientes evaluados en la investigación de Karimzada *et al.*^(5,17)

Los estudios de Bayir *et al.* y Karimzada *et al.* comparten en su metodología el método de imagen utilizado para medir la RRE, la OPT. Este método podría tener una limitación importante que es la superposición de estructuras, al ser bidimensional.

Este desafío en la precisión diagnóstica puede observarse también en los trabajos de Neves *et al.* y Bhardwaj *et al.* Mientras que Neves *et al.* evaluó una muestra considerable de 326 pacientes mediante radiografías periapicales, la investigación de Bhardwaj *et al.* ofrece una mayor precisión diagnóstica. A pesar de contar con una muestra menor de 141 pacientes, el uso de CBCT les permitió identificar la asociación entre el factor tiempo y la RRE con una significancia estadística clara ($p = 0,021$). Este contraste sugiere que la capacidad para detectar reabsorciones incipientes mediante CBCT compensa el menor tamaño muestral y le otorga un mayor peso clínico a la evidencia.^(14,18)

Esta relación directa con el tiempo no solo se observa en investigaciones aisladas, sino que se confirma al analizar revisiones sistemáticas. Un ejemplo de esto es la revisión sistemática de Roscoe *et al.*, donde de los 10 artículos que analizan específicamente la duración del tratamiento, 8 de ellos encontraron una correlación positiva significativa. Esta alta consistencia en la literatura (80% de los estudios analizados) refuerza la importancia de planificar objetivos claros desde el inicio del tratamiento para acortar su duración, convirtiendo el control del tiempo en una de las principales medidas preventivas para minimizar la severidad de la RRE.⁽²⁹⁾

El análisis de las diferentes investigaciones muestra que el problema con el factor tiempo no es solo que aparezca la RRE, sino cómo influye en que se vuelva severa. Los 24 meses parecen ser el límite clínico clave, ya que la mayor parte de los autores lo utilizan como el punto en donde los tratamientos comienzan a ser de

“duración prolongada”. Pasar ese tiempo es lo que realmente aumenta el riesgo de que la reabsorción pase de ser leve a un daño severo de más de 4 mm.

Esto se ve en los resultados de Shahrure *et al.* donde el grupo con RRE severa tuvo casi un año y medio más de tratamiento (3,7 años) en comparación con el grupo control (2,48 años). Al final, esto demuestra que el riesgo no se incrementa de forma lineal, sino exponencial a medida que los tratamientos se alargan.⁽²¹⁾

En contraposición, algunos autores no reportaron un aumento de riesgo de reabsorción a medida que se alarga el tratamiento, lo que podría deberse a que sus investigaciones presentan ciertas limitaciones metodológicas. Un ejemplo es la investigación de Ageel *et al.*, donde una de sus primeras limitaciones es la baja cantidad de casos de RRE (solo 11 casos de reabsorción en una muestra de 54 pacientes), lo que reduce la probabilidad de encontrar relaciones entre las variables. Además, si bien exponen la duración promedio de los tratamientos en meses, no hacen una comparación entre grupos de corta duración versus larga duración.^(29,35)

6.4.3 Modalidad de tratamiento

En cuanto a la modalidad del tratamiento, queda claro que las extracciones dentarias provocan un cambio en las mecánicas del tratamiento. El cierre de los espacios remanentes obliga a realizar movimientos de gran recorrido, principalmente la retrusión del sector anterior. Este tipo de movimiento somete a los dientes anteriores a fuerzas horizontales prolongadas y, muchas veces, a una pérdida de torque que comprime el ligamento periodontal contra las tablas óseas, lo que explica desde el punto de vista biológico la mayor prevalencia de RRE reportada por los diferentes autores.^(5,9,11,12,17,18,21,34,36)

Que el riesgo de tener una reabsorción de ≥ 2 mm o más aumente un 70% en los casos con extracciones, como encontraron Fernandes *et al.*, demuestra la importancia que tiene esta toma de decisión en el tratamiento y confirma que el cierre de espacios expone a las piezas dentarias a una exigencia mecánica superior a la de un tratamiento sin extracciones.⁽³⁴⁾

Al analizar datos de investigaciones como la de Ageel *et al.*, quienes no encontraron una asociación significativa entre los tratamientos con extracciones y la RRE, se puede deducir que, además del pequeño tamaño de la muestra utilizada,

la variable de “extracción” no especificó la mecánica de cierre de espacios ni el esquema de extracciones (primeros o segundos premolares, simétricas o asimétricas, etc.). Por último, la medición en este estudio fue realizada únicamente en premolares y primeros molares, lo que limita el hallazgo de reabsorción en las demás piezas dentarias.⁽³⁵⁾

Los hallazgos de Jiang *et al.* respaldan esta posible limitación metodológica. En su investigación, esta relación se observó más fuertemente en los dientes anteriores que en los posteriores, particularmente en los incisivos inferiores. Esto sugiere que la influencia de las extracciones sobre la RRE depende en gran medida del tipo de diente analizado. Por lo tanto, estudios como el de Ageel *et al.*, que evalúan exclusivamente premolares y molares tienden a pasar por alto esta asociación, lo que explicaría resultados aparentemente contradictorios entre estudios.^(22,35)

Podemos decir también, que el mayor desplazamiento de los ápices durante el cierre de espacios se traduce en un incremento en la duración del tratamiento. Esto se justifica en que los pacientes tratados con extracciones de premolares presentan la mayor duración media del tratamiento, dado que las extracciones implican periodos prolongados para cerrar los espacios, aliviar el apiñamiento y retruir los dientes anteriores, existe un consenso entre diversos autores respecto a este hallazgo.^(18,21,22)

Al mirar los datos publicados por Peker *et al.*, lo relevante no es solo que haya más reabsorción en el grupo con extracciones, sino cómo se incrementa el daño en los niveles más severos. Que la reabsorción severa pase del 2,3% al 8,9% (casi cuatro veces más) confirma que las mecánicas de cierre de espacios no solo inician el proceso, sino que tienen la capacidad de agravarlo.⁽¹²⁾

En cuanto al patrón de extracción, podemos interpretar que el hecho de que los esquemas más simples, como extraer solo los primeros premolares superiores, presenten menor reabsorción que los de cuatro premolares o asimétricos, confirma que el riesgo no es la extracción en sí, sino cuánta fuerza y tiempo requiere el cierre de espacios. El patrón de extracción define la cantidad de movimiento, pero además de esto, son el apiñamiento inicial y los meses de fase activa los que terminan determinando la severidad de la RRE.^(5,9,11,18,21,22,34,36)

6.4.4 Tipos de movimiento

Al contrastar el riesgo de los diferentes tipos de movimientos dentarios, se hace evidente que el periodonto tolera mucho mejor las fuerzas altas pero distribuidas, que las fuerzas ligeras concentradas. Esto explica por qué el movimiento en masa (traslación) y la rotación presentan un menor riesgo de RRE; a pesar de requerir cargas pesadas de hasta 120 g, la distribución homogénea de la fuerza evita la concentración de presión en el ápice, minimizando la aparición de RRE.^(1,9,11,32)

Los movimientos de *tipping* y extrusión reportan un nivel de riesgo intermedio. Los datos muestran que el ápice responde peor a la inclinación que a los desplazamientos paralelos; esto se alinea con lo reportado por Nakano *et al.*, quienes evidenciaron que el *tipping* llega a duplicar el daño radicular frente a la traslación. Al evaluar los tejidos con microscopía electrónica, estos autores observaron que este movimiento concentra cráteres de reabsorción profundos en zonas específicas del tercio apical. Por su parte, la extrusión contradice la teoría de ser un movimiento seguro por generar solo zonas de tensión. En la práctica, la RRE aparece porque es casi imposible evitar los movimientos de inclinación indeseados o porque una fuerza excesiva genera una respuesta inflamatoria que desencadena la reabsorción.^(1,9,32)

En la cima del riesgo, la intrusión absoluta y el torque representan el verdadero peligro de reabsorción severa. La intrusión concentra la presión en el ápice radicular, y es el movimiento que requiere la menor aplicación de fuerza. Cuando se realiza con mecánicas que admiten mayores cargas, como el anclaje óseo, se eleva el riesgo al someter al ápice a una carga continua que elimina los periodos de descanso del ligamento. El torque comparte este nivel crítico, pero condicionado por un límite anatómico: el choque de la raíz contra el hueso cortical.^(1,9,24,30)

Sumado a los tipos de movimiento, podemos agregar que la investigación de Nakano *et al.* comprobó la hipótesis de Proffit, donde la aplicación de fuerzas excesivas (que superan el umbral biológico del ligamento) no solo estanca o disminuye la velocidad del movimiento dentario, sino que continúa incrementando la severidad de la RRE de forma directamente proporcional a la fuerza aplicada.^(1,32)

6.4.5 Elementos auxiliares del tratamiento

Al discutir el impacto de los elementos auxiliares que se utilizan durante el tratamiento ortodóncico, se evidencia que el riesgo de RRE no está relacionado al elemento en sí, sino a la constancia de la fuerza y al anclaje utilizado. Esto explica la neutralidad clínica de los elásticos intermaxilares; a pesar de ser fuerzas adicionales añadidas a la biomecánica, la literatura no los identifica como un factor de riesgo directo. Esto se debe a que su acción está condicionada por la deformación elástica y por la remoción intermitente por parte del paciente, factores que impiden que la fuerza actúe de manera sostenida.⁽¹¹⁾

Por otra parte, con los TADs pasa algo diferente. Su impacto en la RRE depende totalmente de qué movimiento sea realizado. Si se usan para distalizar o mover en masa, podrían actuar previniendo la RRE, debido a que ayudan a trasladar las piezas dentarias en paralelo y evitan que se generen inclinaciones indeseadas. Sin embargo, el riesgo aparece en los movimientos de intrusión. Al usar anclaje esquelético en lugar de dentario, la fuerza que se ejerce sobre un bloque dentario es generalmente mayor a la necesaria para este movimiento. Al respecto, autores como Carrillo *et al.* han reportado que el peligro crítico de los TADs radica en que el clínico tiende a subestimar la fuerza aplicada, por lo que el uso de estos dispositivos eleva significativamente el riesgo de provocar una reabsorción severa cuando las fuerzas no son controladas.^(1,11,37)

7. CONCLUSIONES

La RRE es un proceso inflamatorio de alta prevalencia general pero de baja severidad clínica, ya que las pérdidas severas (>4-5 mm) sólo afectan al 1-5% de los casos. Su diagnóstico puede ser realizado mediante radiografías periapicales y OPT, reservando la CBCT como recurso de segunda línea ante la sospecha de daños moderados o severos.

El desarrollo de la RRE responde a una etiología multifactorial que depende de factores de riesgo inherentes al paciente y factores inherentes al tratamiento ortodóncico. La susceptibilidad individual del paciente está determinada por la madurez radicular (mayor riesgo en adultos), la predisposición genética, formas radiculares anómalas, antecedentes de trauma dental y hábitos parafuncionales.

Dentro de los factores de riesgo asociados al tratamiento ortodóncico, existen variables que se relacionan con la aparición de la RRE, mientras que otros aumentan de forma directa su severidad; la gravedad del daño se incrementa exponencialmente ante la aplicación de fuerzas pesadas continuas, fases activas prolongadas que superan los 24 meses y la exigencia biomecánica que demanda el cierre de espacios en tratamientos con extracciones.

Las discrepancias en la literatura respecto a estos factores podrían deberse a limitaciones metodológicas como muestras reducidas, falta de especificación en la mecánica de cierre o esquemas de extracción, y sesgos de selección al evaluar la reabsorción solamente en ciertos grupos dentarios (como premolares y molares).

Finalmente, sabiendo que la RRE se manifestará en la gran mayoría de los pacientes durante el tratamiento de ortodoncia, el profesional debe realizar una adecuada historia clínica que permita detectar de forma temprana los factores de riesgo inherentes al paciente. De igual manera, es indispensable contar con el conocimiento adecuado sobre las variables inherentes al tratamiento ortodóncico para poder controlarlas de manera preventiva desde la planificación del tratamiento y durante la consulta, para evitar el desarrollo de reabsorciones severas.

8. REFERENCIAS

1. Proffit WR, Fields HW, Sarver DM, Ackerman JL. Ortodoncia contemporánea. 5ta ed. Barcelona: Elsevier; 2014.
2. Brudvik P, Rygh P. The repair of orthodontic root resorption: an ultrastructural study. *Eur J Orthod*. 1995 Jun;17(3):189-198. doi:10.1093/ejo/17.3.189.
3. Liu Z, Ouyang Y, Lou Y, Han Y, Lu M, Yu M, Wang H, Ding W. Orthodontically induced root resorption in endodontically treated and vital teeth: a cone beam computer tomographic study. *Prog Orthod*. 2025;26(1):8. doi:10.1186/s40510-025-00553-7.
4. Lin J, Zheng Q, Wu Y, Zhou M, Chen J, Wang X, Kang T, Zhang W, Chen X. Quantitative analysis and clinical determinants of orthodontically induced root resorption using automated tooth segmentation from CBCT imaging. *BMC Oral Health*. 2025;25(1):694. doi:10.1186/s12903-025-06052-9.
5. Karimzada E, Esenlik E, Er K. External apical root resorption in endodontically treated and vital teeth after orthodontic treatment: a retrospective study. *Turk J Orthod*. 2024;37(4):249-256. doi:10.4274/TurkJOrthod.2024.2024.25.
6. Darvizeh A, González Sánchez JA, Doria Jaureguizar G, Quevedo O, de la Iglesia Beyme F, Elmsmari F, Del Fabbro M. External apical root resorption following orthodontic treatment with clear aligners versus fixed appliances: a systematic review and meta-analysis. *Dent J (Basel)*. 2025;13(12):580. doi:10.3390/dj13120580.
7. Ketcham AH. A preliminary report of an investigation of apical root resorption of permanent teeth. *Int J Orthod Oral Surg Radiogr*. 1927;13(2):97-127.
8. Andreasen JO. External root resorption: its implication in dental traumatology, paedodontics, periodontics, orthodontics and endodontics. *Int Endod J*. 1985;18(2):109-118.
9. Chaitanya ASK, et al. Root resorption in orthodontics: a review. *Int J Dent Sci Innov Res*. 2019;2(4):448-454.
10. Futyma-Gąbka K, Różyło-Kalinowska I, Piskórz M, Bis E, Borek W. Evaluation of root resorption in maxillary anterior teeth during orthodontic treatment with a fixed appliance based on panoramic radiographs. *Pol J Radiol*. 2022;87:e545-e548. doi:10.5114/pjr.2022.120512.
11. Sameshima GT, Iglesias-Linares A. Orthodontic root resorption. *J World Fed Orthod*. 2021;10(4):135-143. doi:10.1016/j.ejwf.2021.09.003.

12. Peker RB, Meriç P. Evaluation of external apical root resorption in cases with extraction and non-extraction fixed orthodontic treatment. *Diagnostics* (Basel). 2024;14(20):2338. doi:10.3390/diagnostics14202338.
13. Alassiry A. Comparative evaluation of orthodontically-induced root resorption using cone beam computed tomography (CBCT) and orthopantomogram (OPG) during en-masse retraction of maxillary anterior teeth. *Cureus*. 2022;14(11):e31219. doi:10.7759/cureus.31219.
14. Bhardwaj K, Patel N, Mengi A, Ingole RS, Ahuja G, Butoliya A, et al. Prevalence, severity, and predictors of apical root resorption following orthodontic treatment: a cone-beam computed tomography study. *J Pharm Bioallied Sci*. 2024;16(Suppl 3):S3939-S3941.
15. Levander E, Malmgren O. Evaluation of the risk of root resorption during orthodontic treatment: a study of upper incisors. *Eur J Orthod*. 1988;10(1):30-38.
16. Malmgren O, Goldson L, Hill C, Orwin A, Petrini L, Lundberg M. Root resorption after orthodontic treatment of traumatized teeth. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1982;82(6):487-491. doi:10.1016/0002-9416(82)90314-5.
17. Bayir F, Bolat Gumus E. External apical root resorption after orthodontic treatment: incidence, severity and risk factors. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects*. 2021;15(2):100-105. doi:10.34172/joddd.2021.017.
18. Neves BMD, Fernandes LQP, Capelli Junior J. External apical root resorption after orthodontic treatment: analysis in different chronological periods. *Dent Press J Orthod*. 2022;27(5):e2220100. doi:10.1590/2177-6709.27.5.e2220100.oar.
19. Zlate MC, Bencze MA, Dragomirescu AO, Băluță AM, Ionescu E. External root resorption associated with orthodontic treatment—descriptive correlations of biological and dental risk factors. *Dent J (Basel)*. 2026;14(1):42. doi:10.3390/dj14010042.
20. Villaman-Santacruz H, Torres-Rosas R, Acevedo-Mascarúa AE, Argueta-Figueroa L. Root resorption factors associated with orthodontic treatment with fixed appliances: a systematic review and meta-analysis. *Dent Med Probl*. 2022;59(3):437-450. doi:10.17219/dmp/145369.
21. Shahrure B, Acar A. Evaluation of risk factors for severe apical root resorption in the maxillary incisors following fixed orthodontic treatment. *Turk J Orthod*. 2022;35(2):75-83.

22. Jiang RP, McDonald JP, Fu MK. Root resorption before and after orthodontic treatment: a clinical study of contributory factors. *Eur J Orthod.* 2010;32(6):693-697. doi:10.1093/ejo/cjp165.
23. Odenrick L, Brattstrom V. The effect of nailbiting on root resorption during orthodontic treatment. *Eur J Orthod.* 1983;5(3):185-188.
24. Chen J, Ning R. Evaluation of root resorption in the lower incisors after orthodontic treatment of skeletal class III malocclusion by three-dimensional volumetric measurement with cone-beam computed tomography. *Angle Orthod.* 2023;93(3):320-327. doi:10.2319/090322-609.1.
25. Alsaigh H, Al Shujaa AM, Aliuwayed NH, Alqahtani RA, Alibrahim MI, Wadaan AM, Alomran RY. Effect of genetic factors on root resorption after orthodontic treatment: a systematic review. *Bioinformation.* 2024;20(10):1321-1328. doi:10.6026/9732063002001321.
26. Quinatoa JAY, Leung WLA, Villacis PJS. Interpretation of the comparison of root resorption between dental aligners and fixed appliances by literature review. *J Adv Zool.* 2023;44:232-241.
27. Sameshima GT, Sinclair PM. Predicting and preventing root resorption: part I. diagnostic factors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2001;119(5):505-510. doi:10.1067/mod.2001.113409.
28. Segal GR, Schiffman PH, Tuncay OC. Meta-analysis of the treatment-related factors of external apical root resorption. *Orthod Craniofac Res.* 2004;7(2):71-78. doi:10.1111/j.1601-6343.2004.00286.x.
29. Roscoe MG, Meira JBC, Cattaneo PM. Association of orthodontic force system and root resorption: a systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2015;147(5):610-626.
30. Ricketts RM, Bench RW, Gugino CF, Hilgers JJ, Schulhof RJ. Técnica bioprogresiva de Ricketts. Buenos Aires: Médica Panamericana; 1983.
31. Brudvik P, Rygh P. Transition and determinants of orthodontic root resorption—repair sequence. *Eur J Orthod.* 1995;17(3):177-188. doi:10.1093/ejo/17.3.177.
32. Nakano T, Hotokezaka H, Hashimoto M, Sirisoontorn I, Arita K, Kurohama T, Darendeliler MA, Yoshida N. Effects of different types of tooth movement and force magnitudes on the amount of tooth movement and root resorption in rats. *Angle Orthod.* 2014;84(6):1079-1085. doi:10.2319/121913-929.1.
33. 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 Dentofacial Orthop*. 2005;127(2):186-195. doi:10.1016/j.ajodo.2003.11.026.
34. Fernandes LQP, Figueiredo NC, Antonucci CCM, Lages EMB, Andrade I Jr, Capelli Junior J. Predisposing factors for external apical root resorption associated with orthodontic treatment. *Korean J Orthod*. 2019;49:310-318.
35. Ageel BM, Siraj EA, Zawawi KH, Afify AR. The prevalence of root resorption after orthodontic treatment in patients attending a university hospital dental clinic. *J Pharm Bioallied Sci*. 2021;13(Suppl 2):S965-S968.
36. Sameshima GT, Sinclair PM. Predicting and preventing root resorption: part II. treatment factors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2001;119(5):511-515. doi:10.1067/mod.2001.113410.
37. Carrillo R, Rossouw PE, Franco PF, Opperman LA, Buschang PH. Intrusion of maxillary molars using a mini-screw anchorage system. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2007;132(5):665-675.