





# Reabsorción radicular inflamatoria inducida por ortodoncia: diagnóstico y abordaje terapéutico.

## Revisión de la literatura

Orthodontically induced inflammatory root resorption: diagnosis and therapeutic approach. A literature review

Gabriela García-Sarmiento <sup>1a</sup>, Tania Rocio Matute-Sánchez <sup>1a</sup>, Evelin Johana Morán Prado <sup>1a</sup>, Fernanda Sacoto-Figueroa <sup>1b</sup>

<sup>1</sup> Universidad Católica de Cuenca. Carrera de Odontología. Especialización en Ortodoncia, Azogues, Ecuador.

<sup>a</sup> Odontóloga

<sup>b</sup> Especialista en Endodoncia

### RESUMEN

**Introducción:** La reabsorción radicular inflamatoria inducida por ortodoncia (*orthodontically induced inflammatory root resorption, OIIRR*) es una complicación caracterizada por pérdida progresiva de tejido radicular duro, mediada por células clásticas en respuesta a fuerzas ortodóncicas y estímulos biológicos. Aunque suele ser leve, en casos moderados o severos puede comprometer el pronóstico dental. **Objetivos:** Revisar la evidencia actual sobre fisiopatología, factores de riesgo, diagnóstico, prevención y manejo clínico de la OIIRR. **Materiales y Métodos:** Se realizó una búsqueda en PubMed, Scopus, SciELO y Google Scholar de artículos publicados en el periodo enero 2015 a julio del 2025, empleando las palabras clave “OIIRR”, “resorption” y “orthodontic” con operadores booleanos. Se incluyeron estudios observacionales, ensayos clínicos, revisiones sistemáticas y metaanálisis, obteniendo 59 publicaciones. **Resultados:** La OIIRR inicia con daño tisular, liberación de *damage associated molecular patterns (DAMPs)* y activación de citocinas proinflamatorias (TNF- $\alpha$ , IL-1 $\beta$ , IL-6) y PGE<sub>2</sub>, que mediante la vía RANK/RANKL/OPG estimulan la actividad odontoclástica y osteoclástica. Entre los factores de riesgo destacan magnitud, dirección y duración de las fuerzas, morfología radicular, edad, predisposición genética y antecedentes de trauma. Movimientos de intrusión y torque, y aparatos fijos, presentan mayor riesgo. El diagnóstico se apoya en radiografías, CBCT y biomarcadores. Las estrategias preventivas incluyen uso de fuerzas ligeras, control radiográfico y suspensión temporal del tratamiento. **Conclusiones:** El diagnóstico temprano, la individualización del tratamiento y la biomecánica controlada son esenciales para reducir la incidencia y severidad de la OIIRR, preservando la integridad radicular y la salud periodontal a largo plazo.

**Palabras clave:** Reabsorción Radicular; Ortodoncia; Movimiento Dentario; Reabsorción de Diente; Inflamación. (Fuente: DeCS BIREME)

### ABSTRACT

**Introduction:** *Orthodontically Induced Inflammatory Root Resorption (OIIRR)* is a complication characterized by the progressive loss of hard root tissue mediated by clastic cells in response to orthodontic forces and biological stimuli. Although it is usually mild, moderate or severe cases may compromise the dental prognosis. **Objectives:** To review current evidence on the pathophysiology, risk factors, diagnosis prevention, and clinical management of OIIRR. **Materials and Methods:** A literature search was conducted in PubMed, Scopus, SciELO, and Google Scholar for articles published between January 2015 and July 2025, using the keywords “OIIRR,” “resorption,” and “orthodontic” with Boolean operators. Observational studies, clinical trials, systematic reviews, and meta-analyses were included, yielding a total of 59 publications. **Results:** OIIRR begins with tissue damage, release of *Damage-Associated Molecular Patterns (DAMPs)*, and activation of pro-inflammatory cytokines (TNF- $\alpha$ , IL-1 $\beta$ , IL-6) and PGE<sub>2</sub>, which stimulate odontoclastic and osteoclastic activity through the RANK/RANKL/OPG signaling pathway. Mayor risk factors include the magnitude, direction, and duration of orthodontic forces, root morphology, age, genetic predisposition, and history of dental trauma. Intrusive and torque movements, as well as fixed appliances, are associated with a higher risk. Diagnosis is supported by radiographic examination, cone-beam computed tomography (CBCT), and biomarkers. Preventive strategies include the use of light forces, periodic radiographic monitoring, and temporary interruption of treatment when necessary. **Conclusions:** Early diagnosis, individualized treatment planning, and controlled biomechanics are essential to reduce the incidence and severity of OIIRR, thereby preserving root integrity and long-term periodontal health.

**Keywords:** Palatal Expansion Technique; Biomechanical Phenomena; Maxilla. (Source: MeSH NLM)

**Citar como:** García-Sarmiento G, Matute-Sánchez TR, Morán Prado EJ, Sacoto-Figueroa F. Reabsorción radicular inflamatoria inducida por ortodoncia: diagnóstico y abordaje terapéutico. Revisión de la literatura. Kiru.2026;23(2):139-148. <https://doi.org/10.24265/kiru.2026.v23n2.07>

**Recibido:** 14/10/2025

**Revisado por pares**

**Aceptado:** 06/03/2026

**En línea:** 27/04/2026

**Correspondencia:** Fernanda Sacoto-Figueroa  
Correo electrónico: fsacotof@ucacue.edu.ec

© Los autores, 2026.  
Publicado por la Universidad de San Martín de Porres (Lima, Perú)



Artículo de acceso abierto, distribuido bajo la licencia de Creative Commons Atribución 4.0 Internacional

## INTRODUCCIÓN

La ortodoncia contemporánea ha demostrado ser una herramienta fundamental para la corrección de maloclusiones y mejorar la estética y función oral. Sin embargo, como todo procedimiento terapéutico, no está exenta de riesgo. Entre las complicaciones más relevantes se encuentra la reabsorción dental inflamatoria asociada a ortodoncia, conocida internacionalmente como orthodontically induced inflammatory root resorption (OIIRR) y en español reabsorción radicular inflamatoria inducida por ortodoncia, una condición caracterizada por la pérdida progresiva de tejido radicular duro, mediada por procesos celulares activados en respuesta a estímulos mecánicos y biológicos<sup>(1)</sup>.

La presencia de reabsorciones asociadas al tratamiento ortodóncico ha generado un creciente interés en la comunidad científica, debido a que pueden comprometer la integridad estructural de los dientes y, en casos avanzados, afectar su pronóstico a largo plazo<sup>(2,3)</sup>. Aunque la mayoría de los episodios son leves y clínicamente indetectables, un número significativo de pacientes puede desarrollar lesiones moderadas o severas que requieren un abordaje interdisciplinario<sup>(4)</sup>.

Diversos factores han sido implicados en el origen de este proceso, incluyendo la magnitud, dirección y duración de las fuerzas aplicadas, las características morfológicas de las raíces, la edad del paciente y la susceptibilidad individual<sup>(5)</sup>. Asimismo, la respuesta inflamatoria mediada por células clásticas juega un papel central en la degradación de cemento y dentina, diferenciándola de otros tipos de reabsorción radicular no inflamatoria<sup>(1,6)</sup>.

El diagnóstico oportuno resulta determinante para minimizar sus consecuencias. El uso de métodos radiográficos convencionales, complementados con tecnologías de imagen tridimensional como la tomografía computarizada de haz cónico (CBCT), ha mejorado la capacidad de detección temprana y seguimiento de estas lesiones<sup>(7,8)</sup>. Paralelamente, el diseño de protocolos preventivos y el manejo clínico adecuado se constituye en pilares esenciales para la preservación de la salud radicular durante y después del tratamiento ortodóncico<sup>(2,4)</sup>.

La presente revisión tiene como objetivo analizar de manera integral la reabsorción dental inflamatoria asociada a ortodoncia, con énfasis en su fisiopatología, factores predisponentes, estrategias de diagnóstico, medidas

preventivas y opciones terapéuticas, aportando una visión crítica y actualizada para el ejercicio clínico.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los estudios incluidos en la presente revisión bibliográfica comprenden artículos de estudios observacionales, transversales, ensayos controlados aleatorizados, revisiones de literatura, revisiones sistemáticas y meta-análisis publicados y aceptados para su publicación cuyo contenido permita cumplir con el objetivo planteado.

Se realizó la búsqueda de artículos científicos de libre acceso en las bases de datos de PubMed, Scopus, SciELO y Google Scholar de artículos publicados entre enero de 2015 y marzo de 2025. Se incluyeron estudios redactados en inglés, español y portugués. La estrategia de búsqueda combinó las palabras clave “OIIRR”, “resorption” y “orthodontic” mediante operadores booleanos. Se consideraron estudios observacionales, ensayos clínicos, revisiones sistemáticas y metaanálisis, obteniéndose un total de 59 publicaciones para la revisión.

## ESTADO DEL ARTE

### Bases biológicas de la reabsorción dental inflamatoria

La reabsorción dental inflamatoria inducida por fuerzas ortodóncicas, se sustenta en una compleja red de interacciones entre el daño tisular, la activación del sistema inmune y la acción de mediadores celulares y moleculares que estimulan a las células clásticas responsables de la pérdida radicular<sup>(9-12)</sup>.

El proceso suele iniciarse tras una lesión mecánica o episodio de hipoxia en el ligamento periodontal y el cemento radicular, eventos que se producen por la aplicación de fuerzas ortodóncicas intensas o por traumatismos. Dicho daño estimula la liberación de patrones moleculares asociados a lesión DAMPs (*damage associated molecular patterns*), son moléculas liberadas por células dañadas o en estrés que actúan como señales de alarma para el sistema inmune. En el contexto de la ortodoncia, aparecen cuando hay daño mecánico o hipoxia en el ligamento periodontal y el cemento radicular que inducen la activación de células inmunitarias como macrófagos y neutrófilos. Estas células liberan citocinas proinflamatorias entre ellas TNF- $\alpha$ , IL-1, IL-6 e IL-8, en conjunto con las prostaglandinas, en especial PGE<sub>2</sub>, y factores de crecimiento, creando un entorno propicio para la diferenciación y activación de odontoclastos y

osteoclastos, directamente implicados en la degradación del cemento y la dentina <sup>(9-12)</sup>.

A nivel molecular, la vía RANK/RANKL/OPG desempeña un papel fundamental. Un incremento en la expresión de RANKL, acompañado de una reducción relativa de osteoprotegerina (OPG), favorece la fusión y activación de precursores clásticos, potenciando el proceso resorptivo. Asimismo, el aumento de COX-2 y la mayor síntesis local de PGE<sub>2</sub> intensifican la respuesta inflamatoria y la actividad clástica de las áreas afectadas <sup>(9-11)</sup>.

El balance entre mediadores proinflamatorios como TNF- $\alpha$  e IL-1 $\beta$  y antiinflamatorios como IL-10 es determinante para

la evolución del cuadro. Cuando los estímulos inflamatorios persisten, ya sea por fuerzas ortodónticas continuas o por daño sostenido en los tejidos periodontales, la actividad clástica se mantiene y la reabsorción progresa <sup>(9-11)</sup>.

La Tabla 1 sintetiza los principales mediadores celulares y moleculares implicados en la OIIRR, describiendo cómo las señales iniciales de daño (DAMPs) activan la cascada inflamatoria. Esta respuesta, mediada por citocinas y lípidos bioactivos, regula la vía RANK/RANKL/OPG, promoviendo la diferenciación y activación de odontoclastos y osteoclastos, células directamente responsables de la resorción radicular <sup>(9-12)</sup>.

**Tabla 1.** Principales mediadores celulares y moleculares implicados en la reabsorción dental inflamatoria inducida por ortodoncia (OIIRR)

Categoría	Componentes clave	Rol en la OIIRR
Señales iniciales (DAMPs)	ATP extracelular, HMGB1, HSPs	Actúan como señales de alarma liberadas por tejidos dañados
Células inmunitarias	Macrófagos, neutrófilos, linfocitos T	Inician la respuesta inflamatoria y secretan mediadores
Citocinas proinflamatorias	TNF- $\alpha$ , IL-1 $\beta$ , IL-6, IL-8	Estimulan la diferenciación y activación clástica
Citocinas antiinflamatorias	IL-10, TGF- $\beta$	Modulan y limitan la inflamación, favoreciendo resolución
Mediadores lipídicos	Prostaglandina E <sub>2</sub> (PGE <sub>2</sub> ), COX-2 ↑	Potencian la respuesta inflamatoria y resorptiva
Vía molecular principal	RANK/RANKL ↑, OPG ↓	Regulan la activación y fusión de precursores clásticos
Células efectoras	Odontoclastos, osteoclastos	Ejecutan la resorción de cemento y dentina

### Clasificación de la reabsorción dental inflamatoria

La reabsorción dental inflamatoria se categoriza principalmente en función de su localización; ya sea, interna o externa. Su etiología; diferenciando los casos asociados a infección de aquellos que no lo están. Según la literatura científica, se reconocen dos grandes tipos: la reabsorción interna inflamatoria y la reabsorción externa inflamatoria <sup>(13-17)</sup>.

La reabsorción interna inflamatoria se desarrolla en el interior del conducto radicular y se caracteriza por la pérdida progresiva de dentina desde la luz pulpar hacia la periferia, habitualmente relacionada con procesos inflamatorios pulpares. En contraste, la reabsorción externa inflamatoria afecta la superficie radicular y constituye la forma más común en contextos de trauma dentoalveolar o tratamientos ortodónticos, ésta última se subdivide en:

- **Reabsorción externa inflamatoria apical:** se observa con frecuencia tras traumatismo dentales o la aplicación de fuerzas ortodónticas, y produce destrucción de cemento y dentina en la región apical.
- **Reabsorción cervical externa o invasiva:** inicia en la zona cervical de la raíz y puede extenderse tanto hacia el tejido pulpar como hacia el periodonto.
- **Reabsorción de reemplazo o anquilosis:** aunque no se considera estrictamente inflamatoria, puede coexistir con procesos de origen inflamatorio, sobre todo en casos de avulsión y posterior reimplante dental.

Asimismo, la clasificación actualmente diferencia la reabsorción inflamatoria asociada a infección como ocurre en casos de necrosis pulpar y contaminación bacteriana de la reabsorción no asociada a infección, en la cual intervienen mecanismos inmunológicos y de reparación

tisular, como sucede en la inducida por fuerzas ortodóncicas o traumas estériles<sup>(13-17)</sup>.

### **Criterios de gravedad de la reabsorción radicular en ortodoncia**

La reabsorción radicular apical externa inducida por ortodoncia fue descrita por primera vez por Malgren et al., en la década 1980, y su clasificación sigue vigente en la práctica clínica. Esta clasificación establece cuatro grados de severidad:

**Grado 1 – Reabsorción inicial o incipiente:** contorno irregular en el ápice radicular, sin pérdida definida de longitud.

**Grado 2 – Reabsorción moderada:** pérdida apical pequeña con contorno o faceta rectilínea; reducción de la longitud radicular menor de 2 mm.

**Grado 3 – Reabsorción marcada:** pérdida comprendida entre 2 mm y un tercio de la longitud radicular.

**Grado 4 – Reabsorción severa:** pérdida mayor a un tercio de la longitud radicular.

### **Factores etiológicos asociados al paciente**

La etiología de las complicaciones relacionadas con el tratamiento ortodóncico es multifactorial, e involucra aspectos propios del paciente, del procedimiento terapéutico y del entorno oral. Entre los más relevantes se destacan:

**Factores genéticos:** la predisposición individual a desarrollar reabsorción radicular externa apical, se asocia con polimorfismos en genes vinculados con la respuesta inflamatoria y la remodelación ósea. Entre ellos destacan variantes en ACT3N, TSC2 y genes reguladores como IL-1, TNF- $\alpha$ , OPG y RANK, los cuales influyen directamente en la susceptibilidad a esta complicación<sup>(18,19)</sup>.

**Características anatómicas y del biotipo periodontal:** un biotipo gingival delgado, la presencia de recesiones previas, una menor anchura de encía queratinizada y ciertas características esqueléticas como la altura, y la anchura de la sínfisis mandibular se asocian con mayor riesgo de recesión gingival tras la ortodoncia<sup>(20)</sup>. Los pacientes en crecimiento pueden mostrar una mayor incidencia de OIIRR, posiblemente por una mayor actividad celular y remodelación ósea, en adultos la respuesta biológica puede ser más lenta, la presencia de un biotipo periodontal fino puede incrementar la vulnerabilidad. Estudios sugieren una mayor predisposición en el sexo femenino, lo que podría relacionarse con variaciones hormonales o diferencias en la densidad ósea<sup>(10)</sup>.

Los pacientes con un patrón hiperdivergente presentan mayor índice de OIIRR y de recesiones gingivales,

asociado a un hueso alveolar más delgado, mayor proinclinación dentaria compensatoria y fuerzas oclusales desfavorables, así como un overjet aumentado se asocia a un mayor riesgo de trauma oclusal y la necesidad de movimientos de retracción e intrusión de incisivos, que son de alto riesgo para OIIRR. Así como la mordida profunda genera trauma oclusal a nivel de los incisivos e incluso complica biomecánicas de intrusión<sup>(21)</sup>.

En cuanto a la morfología y longitud radicular, las raíces cortas afiladas, con ápices delgados o con desviaciones dilaceraciones son más susceptibles a la OIIRR y, las raíces anchas y largas ofrecen mayor resistencia. La longitud radicular menor antes del tratamiento es un factor de riesgo independiente para una OIIRR clínicamente significativa<sup>(21-23)</sup>.

La presencia de OIIRR ya sea por causas traumáticas o de otra naturaleza antes del inicio del tratamiento ortodóncico, aumenta de forma significativa el riesgo de progresión durante dicho tratamiento. Los incisivos, en particular los incisivos centrales superiores, constituyen las piezas dentarias más susceptibles a la OIIRR debido a su ubicación, morfología radicular y a los movimientos que se les aplican con mayor frecuencia, como la intrusión, la retracción y el torque<sup>(24)</sup>.

**Endodoncia previa:** los dientes tratados endodóncicamente pueden tener un riesgo ligeramente mayor de sufrir OIIRR durante el movimiento ortodóncico, posiblemente por alteraciones en la estructura del ligamento periodontal o en la respuesta inmunológica<sup>(25)</sup>. Sin embargo, este antecedente no constituye una contraindicación absoluta para la terapia ortodóncica. Asimismo, los casos que requieren desplazamientos dentarios amplios - como el cierre de espacios por extracciones, la corrección de mordidas cruzadas severas o movimientos apicales extensos, incluidos la intrusión, la extrusión, o el uso prolongado de mecánicas como elásticos intermaxilares y arcos rectangulares de acero - presentan un riesgo acumulado mayor de OIIRR y otras complicaciones asociadas<sup>(25-27)</sup>.

**Factores ambientales y de la salud oral:** el control de placa deficiente y la presencia de aparatos fijos favorecen el desarrollo de caries y enfermedad periodontal al modificar la microbiota oral. Además, la liberación de metales desde los dispositivos ortodóncicos puede generar cambios celulares reversibles en la mucosa, aunque no se ha evidenciado relación con lesiones displásicas<sup>(28,29)</sup>.

**Factores sistémicos y farmacológicos:** el antecedente de trauma dental y uso de corticosteroides se asocian con mayor severidad de la reabsorción radicular inducida por ortodoncia. Por otro lado, ciertos factores como el consumo de anticonceptivos orales o la ingesta elevada de cafeína podrían ejercer un efecto protector frente a estas alteraciones<sup>(4)</sup>.

**Factores psicológicos:** La percepción del dolor durante la terapia ortodóntica puede estar modulada por factores cognitivos y emocionales, como el catastrofismo ante el dolor. No obstante, la influencia de variables demográficas o genéticas específicas en la experiencia dolorosa parece limitada.

La aparición de complicaciones durante el tratamiento ortodóntico responde a una interacción compleja de factores genéticos, biológicos, ambientales y psicológicos, lo que subraya la necesidad de realizar una evaluación de riesgo individualizada antes y durante la terapia<sup>(4,17,20,28,29)</sup>.

#### **Factores etiológicos asociados a la ortodoncia**

La intensidad y la forma en que se aplican las fuerzas ortodónticas son factores claves en la aparición de reabsorción radicular apical externa<sup>(25)</sup>. Existe una relación directa entre la magnitud de la fuerza y el grado de pérdida radicular, la cual aumenta conforme se prolonga el tiempo de aplicación. Fuerzas elevadas, como 225 g generan más daño que fuerzas ligeras, como 25 g, y la aplicación continua produce mayor reabsorción que la intermitente, ya que los intervalos sin carga favorecen la regeneración de los tejidos<sup>(30)</sup>. En cuanto al tipo de movimiento, la intrusión y el torque representan el mayor riesgo, seguidos por el tipping y desplazamientos apicales extensos. La distribución del daño coincide con las zonas de máxima presión hidrostática en el ligamento periodontal principalmente las áreas apicales y superficies sometidas a compresión, y cuando dicha presión supera un umbral aproximado de 4,7 kPa, se activan las células clásticas, generando reabsorción<sup>(26,31,32)</sup>.

Los movimientos ortodónticos determinan la distribución de la presión sobre la raíz, y con ello, el riesgo de reabsorción radicular apical externa. La intrusión y el torque concentran la mayor presión hidrostática en el ligamento periodontal, especialmente en la región apical y en superficies comprimidas, mientras que el tipping distribuye el estrés entre zonas laterales y apicales<sup>(26,27,31-34)</sup>. Cargas elevadas y continuas pueden superar el umbral crítico de 4,7 kPa, activando los odontoclastos y favoreciendo la remodelación patológica del cemento

<sup>(26,31,32,35)</sup>. Además, la dirección del movimiento influye en la localización del estrés: fuerzas bucolinguales y rotacionales concentran la presión en zonas cervicales y apicales, mientras que la traslación corporal la reparte de forma más uniforme<sup>(24,27)</sup>.

La relación entre la secuencia de arcos y la reabsorción radicular apical externa no es completamente directa, aunque ciertos aspectos técnicos pueden influir. El uso de arcos superelásticos y termoactivados, como en la terapia bioeficiente, se ha asociado con menor severidad de reabsorción en comparación con técnicas que emplean arcos de acero más rígido<sup>(4)</sup>, debido a la liberación continua y controlada de fuerzas, evitando picos de presión. Sin embargo, la utilización prolongada de mecánicas como MEAW o elásticos se vincula con mayor prevalencia de EARR, sobre todo en tratamientos extensos y con amplios desplazamientos dentarios<sup>(25,36)</sup>. Factores como la duración total del tratamiento y la magnitud del movimiento radicular parecen ser más determinantes que la secuencia de arcos en sí<sup>(4,26,35)</sup>. No se han encontrado diferencias significativas en la severidad de la EARR entre mecánica de arco continuo y mecánica seccional<sup>(4)</sup>, ni la relación con el tiempo de usos de arcos rectangulares<sup>(22,30,37)</sup>.

La evidencia sugiere que el tipo de aparato ortodóntico puede influir en la prevalencia y severidad de la reabsorción radicular apical externa (EARR), incluso bajo fuerzas equivalentes. Comparaciones entre aparatos fijos convencionales y alineadores transparentes indican que los primeros suelen generar mayor pérdida radicular en la longitud y volumen, especialmente en incisivos maxilares sometidos a extracciones y movimientos de retracción e intrusión<sup>(38-41)</sup>. Esta diferencia se atribuye a que los alineadores distribuyen la fuerza de manera más continua y amplia, mientras que los aparatos fijos ejercen cargas más localizadas y sostenidas<sup>(38-41)</sup>.

En aparatos fijos, la cercanía de la raíz al canal incisivo o la invasión de estructuras anatómicas incrementa el riesgo, escenario en el que los alineadores muestran menor impacto. Aunque ambos sistemas pueden producir EARR, la magnitud suele ser mayor con aparatos fijos, pero habitualmente inferior a 2 mm y sin relevancia clínica<sup>(3,42)</sup>. Entre diferentes diseños de aparatos fijos, las variaciones en la distribución de fuerzas pueden modificar el patrón de reabsorción, aunque no siempre generan diferencias significativas cuando la fuerza aplicada es similar<sup>(1,23,43)</sup>. No obstante, los dispositivos dentosoportados provocan más reabsorción que los huesos soportados<sup>(23)</sup>. En conjunto, bajo fuerzas controladas, los aparatos fijos

tienden a asociarse con mayor EARR que los alienadores, siendo el diseño, la mecánica y otros factores individuales determinantes en el riesgo<sup>(3,23,38-42)</sup>.

### Métodos de diagnóstico de OIIRR

La ortopanorámica resulta útil como herramienta inicial de orientación diagnóstica, ya que brinda una visión general de las piezas dentarias, arcos, huesos maxilares, senos paranasales y articulaciones temporomandibulares. Sin embargo, su resolución limitada y la superposición de estructuras dentarias impiden alcanzar el nivel de detalle anatómico que ofrece la radiografía endoscópica<sup>(44)</sup>.

La técnica de paralaje facilita la obtención de imágenes radiográficas precisas y reproducibles, empleándose para determinar con exactitud la ubicación de la lesión<sup>(45,46)</sup>. No obstante, al tratarse de un método bidimensional, la radiografía periapical presenta limitaciones para valorar el daño radicular. A ello se suma la superposición de estructuras anatómicas y posibles distorsiones por errores de proyección pueden generar imágenes con menor nitidez<sup>(45,47)</sup>.

La microscopía electrónica de barrido (MEB) proporciona imágenes tridimensionales de alta resolución, permitiendo examinar con precisión la morfología y composición de la superficie radicular. Su uso facilita la detección y medición de cráteres de reabsorción, aunque la curvatura de algunas raíces puede ocasionar pérdida parcial de información<sup>(47,48)</sup>.

También se emplea en la investigación de células, filtración bacteriana, desarrollo de biopelícula y tejidos de la región pulpar y periapical, en la evaluación de la biocompatibilidad de materiales endodónticos, así como en el diagnóstico de patologías periapicales y en el estudio de células madre pulpaes<sup>(49,50)</sup>.

La microtomografía computarizada permite un análisis tridimensional, de carácter cualitativo y cuantitativo, mediante la visualización de microestructuras con alta resolución<sup>(51)</sup>. La microtomografía computarizada es actualmente una de las herramientas de investigación más precisas para el análisis del sistema de conductos radiculares<sup>(47,52)</sup>. Sus métodos tridimensionales permiten cuantificar la reabsorción radicular con mayor exactitud que las técnicas bidimensionales, gracias a su resolución de hasta 3µm<sup>(47)</sup>.

La CBCT ha revolucionado su diagnóstico, al permitir una visualización tridimensional precisa de las estructuras dentales con menor dosis de radiación que la tomografía

convencional y posibilidad de uso en evaluaciones *in vivo*. Ha demostrado ser fiable en cálculos volumétricos, lo que la convierte en una herramienta valiosa para cuantificar la pérdida de material radicular y evaluar con mayor precisión la extensión del daño<sup>(22,47,53)</sup>.

Los biomarcadores ofrecen una alternativa más sensible, específica y segura que las radiografías convencionales para la detección temprana de la reabsorción radicular inducida por ortodoncia. Al reflejar señales bioquímicas vinculadas al proceso inflamatorio y a la remodelación ósea provocados por las fuerzas ortodóncicas, pueden identificarse en sangre, saliva o líquido crevicular gingival<sup>(54,55)</sup>. Entre los más relevantes se incluyen mediadores inflamatorios como el TNF- $\alpha$ , marcadores de remodelación ósea como RANKL y proteínas de la matriz dentinaria (DSP, DPP, DMP1, DSPP), que permiten un seguimiento más preciso del riesgo y evolución del proceso. La interleucina-6 (IL-6), citocina proresortiva clave, aumenta su liberación ante fuerzas compresivas intensas, activando la actividad osteoclástica y favoreciendo la OIIRR. Las proteínas dentinarias, altamente específicas, se detectan en el ligamento periodontal únicamente durante la reabsorción activa, correlacionándose con su severidad. Otros biomarcadores, como la fosfatasa alcalina, así como hormonas como la calcitonina, osteocalcina y PTH, también influyen en el movimiento dental y en la susceptibilidad a la reabsorción radicular<sup>(54-56)</sup>.

### Manejo clínico preventivo para reducir la reabsorción dental inducida por ortodoncia

La reabsorción radicular inducida por ortodoncia (OIIRR) requiere detección temprana, uso de fuerzas controladas y seguimiento radiográfico periódico. El análisis radiográfico inicial permite identificar factores de riesgo, y el consentimiento informado debe incluir explícitamente la posibilidad de esta complicación<sup>(2,3)</sup>. Los incisivos maxilares son los más susceptibles, debido a su morfología radicular, por lo que requieren vigilancia especial<sup>(57)</sup>.

Se recomienda emplear fuerzas ligeras e intermitentes, especialmente en los movimientos de intrusión o torsión. Se aconseja evitar el uso inicial de arcos de gran calibre y no omitir etapas intermedias en la progresión del alambre. Se sugiere respetar los intervalos de tiempo entre citas<sup>(54,57)</sup>. El monitoreo radiográfico trimestral es fundamental en pacientes de alto riesgo<sup>(54,58)</sup>.

En caso de la detección de OIIRR, debe suspenderse los movimientos activos entre 2 y 6 meses, manteniendo un

arco pasivo y reevaluando el plan terapéutico; en casos severos, puede ser necesaria la terapia endodóntica o la finalización del tratamiento<sup>(3,54,59)</sup>. Durante la fase de retención, se aconseja control radiográfico y precaución con retenedores fijos para evitar traumatismos<sup>(2,3,54)</sup>.

El paciente debe ser informado sobre el riesgo de OIIRR como parte del consentimiento informado, señalando que no es posible predecir quien desarrollará formas graves<sup>(3)</sup>. Para reducir el riesgo, se recomienda aplicar fuerzas ligeras e intermitentes, evitar el inicio con alambres de gran calibre, no omitir secuencia, minimizar el uso de elásticos intermaxilares, controlar hábitos y considerar antecedentes médicos y familiares<sup>(3)</sup>.

El control radiográfico anual, con una primera revisión a los seis meses, resulta fundamental; en pacientes con antecedentes de traumatismo dental se aconseja un periodo de observación de 3 a 6 meses previo al tratamiento, según la severidad<sup>(3)</sup>.

Si se detecta reabsorción, el plan debe reevaluarse para decidir si continuar, modificar o suspender la terapia. Se recomienda una pausa mínima de tres meses con arcos pasivos o exclusión de los dientes afectados, permitiendo la reparación del cemento celular. Radiografías de seguimiento son necesarias antes de reanudar el tratamiento, y en casos de progresión continua se deben considerar alternativas terapéuticas, manteniendo informado al paciente mediante controles periódicos<sup>(3)</sup>.

#### **Procedimientos para reducir la incidencia de reabsorción radicular inducida por ortodoncia**

El ultrasonido de baja intensidad (LIPUS) constituye una terapia adyuvante no invasiva que transfieren energía mecánica a los tejidos sin efectos térmicos ni destructivos. Su aplicación modula la actividad celular en ligamento periodontal y el hueso, reduciendo la inflamación y favoreciendo la reparación celular en el ligamento periodontal y el hueso, reduciendo la inflamación y favoreciendo la reparación tisular. Estudios *in vitro*, como el de Bona *et al.*, evidencia que el LIPUS atenúa la cementoclastogénesis, disminuye la relación RANKL/OPG y estimula la proliferación de cementoblastos, lo que contribuye tanto a inhibir la reabsorción radicular como a promover la regeneración del cemento. Normalmente, se aplica de forma domiciliaria durante 20 min diarios por 4 semanas o más, dependiendo del tratamiento<sup>(3)</sup>.

La terapia Laser de baja intensidad también ha mostrado efectos analgésicos, biomoduladores y antiinflamatorios. Actúa mediante la bioestimulación mitocondrial, que activa vías de señalización celular y favorece la vascularización, epitelización y síntesis de colágeno, contribuyendo a la reparación ósea y a la reducción de la reabsorción radicular. Sin embargo, la eficacia depende de la longitud de onda utilizada, siendo las más altas potencialmente más efectivas. Existen múltiples protocolos: algunos requieren aplicaciones muy frecuentes (días 0, 3, 7, 14 y luego cada 2 semanas), mientras que otros proponen sesiones más espaciadas, cada 3 semanas, lo que representan una alternativa más cómoda para el paciente<sup>(3)</sup>.

## **DISCUSIÓN**

Por ende, la (OIIRR) es un proceso inflamatorio desencadenado por fuerzas ortodóncicas, cuyo mecanismo directo comienza con la compresión de los vasos sanguíneos apicales, lo que reduce el flujo sanguíneo, causa la muerte de los cementoblastos y expone la superficie radicular, atrayendo a los osteoclastos que inician en la reabsorción<sup>(2-4)</sup>. Se trata de un fenómeno multifactorial en el que intervienen fuerzas biomecánicas, predisposición genética<sup>(10,19)</sup> e historial de trauma dental. En cuanto al diagnóstico, la radiografía 2D sigue siendo el método más común debido a su accesibilidad, aunque su precisión es limitada, ya que solo detecta reabsorción cuando hay una pérdida del 30-40% de la longitud radicular, subestimando así lesiones incipientes<sup>(2,3)</sup>. Por el contrario, la CBCT se considera el gold standard para un diagnóstico preciso, ya que permite una evaluación tridimensional, detecta defectos pequeños y cuantifica el volumen de reabsorción, siendo especialmente útil en paciente de alto riesgo<sup>(41,53)</sup>.

Entre los factores de riesgo y aspectos biomecánicos, se ha observado que las fuerzas pesadas y continuas se asocian a un mayor riesgo comparado con las ligeras e intermitentes<sup>(30,35)</sup>, y que movimientos intrusivos y de torque de la raíz presentan mayor OIIRR<sup>(25,33)</sup>. Respecto al tipo de aparatología, los estudios comparativos entre alineadores transparentes y brackets fijos muestran resultados variables, sin una clara superioridad de uno sobre otro, aunque algunos sugieren menor reabsorción con alineadores en ciertos movimientos<sup>(38,42)</sup>. El manejo clínico y la prevención representan la estrategia más efectiva según la evidencia, e influye la evaluación de riesgo para identificar pacientes susceptibles, el uso de

fuerzas ligeras y continuas con intervalos de activación largos, y el monitoreo mediante controles radiográficos preferiblemente con CBCT en casos de riesgo a los 6 y 12 meses para detectar reabsorción progresiva. Además, ante una OIIRR detectada, la interrupción de las fuerzas por 3-6 meses permite la reparación cementaria en las lesiones leves a moderadas <sup>(2)</sup>. Finalmente, entre las terapias adyuvantes emergentes, el láser de baja intensidad y el ultrasonido pulsado (LIPUS) cuentan como evidencia preliminar en modelos animales y otros estudios clínicos sugiere que puede modular la inflamación y reducir OIIRR; sin embargo, la heterogeneidad en los protocolos respecto a parámetros, dosis y frecuencia impide establecer recomendaciones universales y hace necesaria más investigación <sup>(8,9)</sup>.

## CONCLUSIONES

La reabsorción radicular inducida por ortodoncia representa un desafío clínico complejo que involucra una interacción multifactorial entre predisposición biológica individual y variables biomecánicas del tratamiento. La evidencia actual subraya la importancia de un diagnóstico temprano y multidimensional que integre técnicas radiográficas convencionales y, tomografía computarizada de haz cónico. El manejo óptimo requiere la aplicación estratégica de fuerzas ortodóncicas ligeras y controladas, con una monitorización radiográfica rigurosa para elegir la biomecánica y favorecer la reparación cementaria cuando sea necesario. La individualización del tratamiento basada en la evaluación de factores genéticos, morfológicos y funcionales se posiciona como la piedra angular para minimizar la severidad y frecuencia de esta complicación priorizando la integridad radicular y la salud periodontal a largo plazo.

### Roles de contribuciones según CRediT

Conceptualización: MGG-S, TRM-S, EJMP. Metodología: MGG-S, FS-F. Investigación: MGG-S, TRM-S, EJMP. Curación de datos: MGG-S, TRM-S. Redacción – borrador original: MGG-S. Redacción – revisión y edición: FS-F. Visualización: EJMP, TRM-S. Supervisión: FS-F. Administración del proyecto: MGG-S.

**Fuente de financiamiento:** Autofinanciado.

**Conflictos de interés:** Las autoras declararon no tener conflicto de interés.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Negi A, Kumar T, Srivastava NK, Singhal M, Saha S, Mishra A. Orthodontically Induced Inflammatory Root Resorption: Mechanisms, Risk Factors, and Management Strategies. *Curr Trends Dent.* 2025 Jan;2(1):42–6. doi: 10.4103/CTD.CTD\_8\_25
2. Safi-Eddine Z, Sahim S, Radif G, Khalfi ZE, Quars FE. Diagnosis and Management of Orthodontically Induced Inflammatory Root Resorption: A Review. *OAlib.* 2024;11(10):1–13. doi: 10.4236/oalib.1112254
3. Yassir YA, McIntyre GT, Bearn DR. Orthodontic treatment and root resorption: an overview of systematic reviews. *Eur J Orthod.* 2021 Aug 3;43(4):442–56. doi: 10.1093/ejo/cjaa058
4. Dawood HM, Kroeger A, Chavda V, Chapple ILC, Kerschull M. Under pressure-mechanisms and risk factors for orthodontically induced inflammatory root resorption: a systematic review. *Eur J Orthod.* 2023 Sep 18;45(5):612–26. doi: 10.1093/ejo/cjad011
5. 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 Jan 6;21(1):1. doi: 10.1186/s40510-019-0301-1
6. Yong J, Gröger S, von Bremen J, Meyle J, Ruf S. PD-L1, a Potential Immunomodulator Linking Immunology and Orthodontically Induced Inflammatory Root Resorption (OIIRR): Friend or Foe? *Int J Mol Sci.* 2022 Sep 27;23(19):11405. doi: 10.3390/ijms231911405
7. Yazid F, Teh Y, Ashari A, Ariffin SHZ, Wahab RMA. Detection methods of orthodontically induced inflammatory root resorption (OIIRR): a review. *Aust Orthod J.* 2020 Jan 1;36(1):101–7. doi: 10.21307/aoj-2020-012
8. Michelogiannakis D, Al-Shammery D, Akram Z, Rossouw PE, Javed F, Romanos GE. Influence of low-level laser therapy on orthodontically-induced inflammatory root resorption. A systematic review. *Arch Oral Biol.* 2019 Apr;100:1–13. doi: 10.1016/j.archoralbio.2019.01.017
9. Yamaguchi M, Fukasawa S. Is Inflammation a Friend or Foe for Orthodontic Treatment?: Inflammation in Orthodontically Induced Inflammatory Root Resorption and Accelerating Tooth Movement. *Int J Mol Sci.* 2021 Feb 27;22(5):2388. doi: 10.3390/ijms22052388
10. Iglesias-Linares A, Hartsfield JK. Cellular and Molecular Pathways Leading to External Root Resorption. *J Dent Res.* 2017 Feb 5;96(2):145–52. doi: 10.1177/0022034516677539
11. Matsumoto Y, Sringkamboriboon S, Ono T. Proinflammatory mediators related to orthodontically induced periapical root resorption in rat mandibular molars. *Eur J Orthod.* 2017 Nov 30;39(6):686–91. doi: 10.1093/ejo/cjx033

12. Lin S, Mavridou AM, Novak R, Moreinos D, Abbott PV, Rotstein I. Pathogenesis of non-infection related inflammatory root resorption in permanent teeth: A narrative review. *Int Endod J.* 2023 Dec 15;56(12):1432–45. doi: 10.1111/iej.13976
13. Abbott P. Prevention and management of external inflammatory resorption following trauma to teeth. *Aust Dent J.* 2016 Mar 29;61(S1):82–94. doi: 10.1111/adj.12400
14. Andreasen JO. Reprint of: Relationship Between Surface and Inflammatory Resorption and Changes in the Pulp After Replantation of Permanent Incisors in Monkeys. *J Endod.* 2021 Jun;47(6):865–72. doi: 10.1016/j.joen.2021.03.017
15. Abbott P V., Lin S. Tooth resorption—Part 2: A clinical classification. *Dent Traumatol.* 2022 Aug 23;38(4):267–85. doi: 10.1111/edt.12762
16. Lin S, Moreinos D, Mavridou AM, Novak R, Rotstein I, Abbott P V. The role of infection in signalling root resorption: A narrative review. *Int Endod J.* 2024 Dec 18;57(12):1727–44. doi: 10.1111/iej.14132
17. Lin W, Farella M, Antoun JS, Topless RK, Merriman TR, Michelotti A. Factors associated with orthodontic pain. *J Oral Rehabil.* 2021 Oct;48(10):1135–43. doi: 10.1111/joor.13227
18. Burnheimer JM, Baxter DJ, Deeley KB, Vieira AR, Bezamat M. Exploring etiologic contributions to the occurrence of external apical root resorption. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2024 Oct;166(4):356-362.e8. doi: 10.1016/j.ajodo.2024.05.017
19. Nieto-Nieto N, Solano JE, Yañez-Vico R. External apical root resorption concurrent with orthodontic forces: the genetic influence. *Acta Odontol Scand.* 2017 May 19;75(4):280–7. doi: 10.1080/00016357.2017.1294260
20. Cadenas de Llano-Pérua M, Castro AB, Danneels M, Schelfhout A, Teughels W, Willems G. Risk factors for gingival recessions after orthodontic treatment: a systematic review. *Eur J Orthod.* 2023 Sep 18;45(5):528–44. doi: 10.1093/ejo/cjad026
21. Lee JB, Baek SJ, Kim M, Pang EK. Correlation analysis of gingival recession after orthodontic treatment in the anterior region: an evaluation of soft and hard tissues. *J Periodontal Implant Sci.* 2020 Jun;50(3):146–58. doi: 10.5051/jpis.2020.50.3.146
22. Sönmez G, Koç C, Kamburoğlu K. Accuracy of linear and volumetric measurements of artificial ERR cavities by using CBCT images obtained at 4 different voxel sizes and measured by using 4 different software: an *ex vivo* research. *Dentomaxillofac Radiol.* 2018 Dec;47(8):20170325. doi: 10.1259/dmfr.20170325
23. Yildirim M, Akin M. Comparison of root resorption after bone-borne and tooth-borne rapid maxillary expansion evaluated with the use of microtomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2019 Feb;155(2):182–90. doi: 10.1016/j.ajodo.2018.03.021
24. Wang X, Xue J, Wang X, Fan M. Biomechanical effects of orthodontic tooth movement on edentulous alveolar bone: a finite element analysis. *Front Bioeng Biotechnol.* 2025 Jul 3;13. doi: 10.3389/fbioe.2025.1625027
25. Xiao S, Li L, Wang L, Wang Y, Zhang M, Yao J, et al. Root surface microcracks induced by orthodontic force as a potential primary indicator of root resorption. *J Biomech.* 2020 Sep;110:109938. doi: 10.3389/fbioe.2025.1625027
26. Roscoe MG, Cattaneo PM, Dalstra M, Ugarte OM, Meira JBC. Orthodontically induced root resorption: A critical analysis of finite element studies' input and output. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2021 Jun;159(6):779–89. doi: 10.1016/j.ajodo.2020.02.023
27. Jain A, Prasantha GS, Mathew S, Sabrish S. Analysis of stress in periodontium associated with orthodontic tooth movement: a three dimensional finite element analysis. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* 2021 Dec 10;24(16):1841–53. doi: 10.1080/10255842.2021.1925255
28. Contaldo M, Lucchese A, Lajolo C, Rupe C, Di Stasio D, Romano A, et al. The Oral Microbiota Changes in Orthodontic Patients and Effects on Oral Health: An Overview. *J Clin Med.* 2021 Feb 16;10(4):780. doi: 10.3390/jcm10040780
29. Modugno FP, Kuhn E, Bianchi CL, Runza L, Pellegrini M, Pulicari F, et al. Biological Consequences and Assessment Methods Analysis of Fixed Orthodontic Appliances on Oral Epithelial Cells: A Systematic Review. *J Oral Pathol Med.* 2025 Jul 19;54(6):413–34. doi: 10.1111/jop.13643
30. Ozkalayci N, Karadeniz EI, Elekdag-Turk S, Turk T, Cheng LL, Darendeliler MA. Effect of continuous versus intermittent orthodontic forces on root resorption: A microcomputed tomography study. *Angle Orthod.* 2018 Nov 1;88(6):733–9. doi: 10.2319/012518-68.1
31. Zhong J, Chen J, Weinkamer R, Darendeliler MA, Swain M V., Sue A, et al. *In vivo* effects of different orthodontic loading on root resorption and correlation with mechanobiological stimulus in periodontal ligament. *J R Soc Interface.* 2019 May;16(154):20190108. doi: 10.1098/rsif.2019.0108
32. Kuc AE, Sybilski K, Kotuła J, Piątkowski G, Kowala B, Lis J, et al. The Hydrostatic Pressure Distribution in the Periodontal Ligament and the Risk of Root Resorption—A Finite Element Method (FEM) Study on the Nonlinear Innovative Model. *Materials.* 2024 Apr 4;17(7):1661. doi: 10.3390/ma17071661
33. Linkous ER, Trojan TM, Harris EF. External apical root resorption and vectors of orthodontic tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2020 Nov;158(5):700–9. doi: 10.1016/j.ajodo.2019.10.017
34. Li Z, Yu M, Jin S, Wang Y, Luo R, Huo B, et al. Stress Distribution and Collagen Remodeling of Periodontal Ligament During Orthodontic Tooth Movement. *Front Pharmacol.* 2019 Oct 24;10. doi: 10.3389/fphar.2019.01263
35. Roscoe MG, Meira JBC, Cattaneo PM. Association of orthodontic force system and root resorption: A systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2015 May;147(5):610–26. doi: 10.1016/j.ajodo.2014.12.026

36. Su R, Li S, Zhang C, Hou J. Effective endodontically treated incisors with external root resorption during orthodontic movement: A case report. *Clin Case Rep.* 2023 Mar 27;11(3):e7073. doi: 10.1002/ccr3.7073
37. Ghaleb S, Tamish N, ElKenany W, Guindi M. The effect of two different types of forces on possible root resorption in relation to dentin phosphoprotein levels: a single-blind, split-mouth, randomized controlled trial. *Prog Orthod.* 2021 Dec 20;22(1):44. doi: 10.1186/s40510-021-00388-y
38. Almagrabi I, Albarakani AY, Almashraqi AA, Alhammadi MS, Al-Warafi LA, Almaqrabi M, et al. Volumetric and tridimensional root resorption and alveolar bone changes in Class II malocclusion extraction protocol treated with clear aligners and fixed orthodontic appliances: A comparative study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2025 May;167(5):539–49. doi: 10.1016/j.ajodo.2024.11.012
39. He X, Zhou X, Cui Y, Li X, Zhou Y, Xia Y, et al. Comparative analysis of root resorption and alveolar remodeling in maxillary incisors during orthodontic-orthognathic surgical treatment of skeletal Class III malocclusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2025 May;167(5):591–603.e6. doi: 10.1016/j.ajodo.2024.12.007
40. Al-Gumaei WS, Long H, Zhang X, Zhang H, Tang Y, Jiang Q, et al. Three-dimensional comparative analysis of upper central incisors external apical root resorption/ incisive canal changes in first premolar extraction cases: clear aligners Versus passive self-ligating fixed braces. *Clin Oral Investig.* 2025 Feb 21;29(3):147. doi: 10.1007/s00784-025-06217-4
41. Al-Rokhami RK, Sakran KA, Al-Worafi NA, Al-balaa M, Algahefi A, Li Z. Three-dimensional retrospective analysis of root resorption and incisive canal changes following maxillary incisor retraction in class I and class II extraction cases: a comparison of clear aligners and fixed appliances. *Sci Rep.* 2025 Jul 10;15(1):24896. doi: 10.1038/s41598-025-10210-y
42. Gandhi V, Mehta S, Gauthier M, Mu J, Kuo CL, 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.* 2021 Jan 29;43(1):15–24. doi: 10.1093/ejo/cjaa013
43. Moradinejad M, Mazhari M, Mazhary M, Hashemi Ashtiani A, Yazdi M, Rakhshan V. Effects of fixed orthodontic lingual retainers on PDL stress, root resorption risk, and tooth displacement. *Sci Rep.* 2025 Jul 1;15(1):20559. doi: 10.1038/s41598-025-06004-x
44. Saccomanno S, Passarelli PC, Oliva B, Grippaudo C. Comparison between Two Radiological Methods for Assessment of Tooth Root Resorption: An In Vitro Study. *Biomed Res Int.* 2018;2018:1–7. doi: 10.1155/2018/5152172
45. Pereira SA, Corte-Real A, Melo A, Magalhães L, Lavado N, Santos JM. Diagnostic Accuracy of Cone Beam Computed Tomography and Periapical Radiography for Detecting Apical Root Resorption in Retention Phase of Orthodontic Patients: A Cross-Sectional Study. *J Clin Med.* 2024 Feb 22;13(5):1248. doi: 10.3390/jcm13051248
46. Maués CPR, Nascimento RR do, Vilella O de V. Severe root resorption resulting from orthodontic treatment: Prevalence and risk factors. *Dental Press J Orthod.* 2015 Feb;20(1):52–58. doi: 10.1590/2176-9451.20.1.052-058.oar
47. Dindaroglu F, Dogan S. Root Resorption in Orthodontics. *Turk J Orthod.* 2017 Mar 31;29(4):103–8. doi: 10.5152/TurkJOrthod.2016.16021
48. Romano A, Di Spirito F, Amato A, Ferraro GA, Dipalma G, Xhajanka E, et al. Dental Microstructural Imaging: From Conventional Radiology to In Vivo Confocal Microscopy. *Applied Sciences.* 2022 Oct 21;12(20):10654. doi: 10.3390/app122010654
49. Brito LS, Venâncio Santos MC, Carvalho De Almeida W, Falcão LF, Falcão DF, Feitosa GT, et al. Microscopy in Endodontics: A Bibliometric Survey. *Iran J Public Health.* 2022;51(7):1568–1575. doi: 10.18502/ijph.v51i7.10090
50. Singh S. Microscopes in conservative dentistry and endodontics research. *J Conserv Dent.* 2022;25(4):333–337. doi: 10.4103/jcd.jcd\_402\_22
51. Campioni I, Pecci R, Bedini R. Ten Years of Micro-CT in Dentistry and Maxillofacial Surgery: A Literature Overview. *Appl Sci.* 2020;10(12):4328. doi: 10.3390/app10124328
52. Aksoy U, Küçük M, Versiani MA, Orhan K. Publication trends in micro-CT endodontic research: a bibliometric analysis over a 25-year period. *Int Endod J.* 2021;54(3):343–353. doi: 10.1111/iej.13433
53. Baena-de la Iglesia T, Yañez-Vico RM, Iglesias-Linares A. Diagnostic performance of cone-beam computed tomography to diagnose in vivo/in vitro root resorption: a systematic review and meta-analysis. *J Evid Based Dent Pract.* 2023 Mar;23(1):101803. doi: 10.1016/j.jebdp.2022.101803
54. Mabrak A El, Safi-Eddine Z, Alami S. Orthodontic Treatment of Endodontically Treated Teeth: A Review of Literature. *Open Access Libr J.* 2025;12:e13031. doi: 10.4236/oalib.1113031
55. Kapoor P, Chowdhry A, Bagga DK, Bhargava D. Biomarkers in External Apical Root Resorption: An Evidence-based Scoping Review in Biofluids. *Rambam Maimonides Med J.* 2022;13(4):e0027. doi: 10.5041/RMMJ.10482
56. Mona M, Abbasi Z, Kobeissy F, Chahbandar A, Pileggi R. A Bioinformatics Systems Biology Analysis of the Current Oral Proteomic Biomarkers and Implications for Diagnosis and Treatment of External Root Resorption. *Int J Mol Sci.* 2021;22(6):3181. doi: 10.3390/ijms22063181
57. Inchingolo F, Inchingolo AM, Malcangi G, Ferrante L, Trilli I, Di Noia A, et al. The Interaction of Cytokines in Orthodontics: A Systematic Review. *Appl Sci.* 2024 Jun 13;14(12):5133. doi: 10.3390/app14020690
58. Heboyan A, Avetisyan A, Karobari MI, Marya A, Khurshid Z, Rokaya D, et al. Tooth root resorption: A review. *Sci Prog.* 2022 Jul 27;105(3):368504221109217. doi: 10.1177/00368504221109217
59. Su R, Li S, Zhang C, Hou J. Effective endodontically treated incisors with external root resorption during orthodontic movement: A case report. *Clin Case Rep.* 2023;11(3):e7073. doi: 10.1002/ccr3.7073.net