

EL MOVIMIENTO DENTAL ORTODÓNCICO EN ÁPICES INMADUROS.
REVISIÓN SISTEMÁTICA
ORTHODONTIC TOOTH MOVEMENT IN IMMATURE APICES.
A SYSTEMATIC REVIEW

ISAAC WASSERMAN MILHEM¹, MAYRA LIZBETH BRAVO CASANOVA², FÉLIX ALEXANDER CARABALLO MORENO²,
DIANA ANTONIA GRANADOS PELAYO², CLAUDIA PATRICIA RESTREPO BOLÍVAR²

RESUMEN. Introducción: el movimiento dental ortodóncico con ápices abiertos que no han terminado su formación radicular completa no ha sido estudiado suficientemente. Existe controversia sobre los riesgos que se pueden generar por dicho movimiento, como reabsorción radicular o disminución de la longitud radicular. El objetivo de esta revisión sistemática es determinar los posibles efectos de alargamiento, acortamiento o reabsorción radicular que se pudieran presentar durante el movimiento dental ortodóncico en dientes que no han terminado su formación radicular. **Métodos:** se hizo una búsqueda electrónica (PubMed, Cochrane, Dentistry and Oral Sciences Source, Science Direct, Google Scholar, IdeA, ProQuest, Embase, Medline, Lilacs, TRIP) y una búsqueda manual en la biblioteca Juan Roa Vázquez, de la Universidad El Bosque, desde 1990 a 2014. Los artículos que cumplieron con los criterios de inclusión, como ensayos clínicos aleatorizados, prospectivos, retrospectivos y de dentición mixta temprana con sistema 2 x 4, fueron evaluados por cuatro investigadores y calificados metodológicamente. **Resultados:** se realizó una calificación metodológica personalizada tomada de Lagravere y colaboradores (2005). Cuatro artículos fueron finalmente seleccionados, de los cuales tres fueron de modalidad retrospectiva: Amlani y colaboradores (2007), con 26 pacientes, encontraron reabsorción radicular en el 8% de la muestra, sin significancia estadística. Mavragani y colaboradores (2002), con una muestra de 146 pacientes, encontraron raíces más largas en dientes más jóvenes, y Kim y Park (2004), con 59 pacientes, encontraron mayor reabsorción en incisivos laterales maxilares. Da Silva y colaboradores (2005), con 46 pacientes, reportaron una prevalencia de 4.4% de reabsorción radicular en incisivos centrales. **Conclusiones:** esta revisión sistemática debe ser tomada con cautela por el bajo y moderado nivel de evidencia encontrado. En términos generales, no se encontró alteración en la forma ni en la longitud radicular cuando los dientes con ápices abiertos fueron sometidos a fuerzas ortodóncicas fijas. El riesgo de reabsorción apical estuvo más relacionado con la duración del tratamiento, en dientes con ápices tanto abiertos como cerrados.

Palabras clave: ortodoncia, ápice del diente, reabsorción radicular, revisión sistemática.

Wasserman-Milhem I, Bravo-Casanova ML, Caraballo-Moreno FA, Granados-Pelayo DA, Restrepo-Bolívar CP. El movimiento dental ortodóncico en ápices inmaduros. Revisión sistemática. Rev Fac Odontol Univ Antioq 2016; 27(2): 367-388. DOI: <http://dx.doi.org/10.17533/udea.rfo.v27n2a7>

Abstract. Introduction: orthodontic tooth movement with open apices which have not completed root formation has not been sufficiently studied. There is controversy about the risks associated to this movement, such as root resorption and decreased root length. The goal of this systematic review is to determine the possible effects of lengthening, shortening, or root resorption possibly occurring during orthodontic movement in teeth that have not completed root formation. **Methods:** electronic search (PubMed, Cochrane, Dentistry and Oral Sciences Source, Science Direct, Google Scholar, IdeA, ProQuest, Embase, Medline, Lilacs, TRIP) and manual search at Universidad El Bosque Juan Roa Vázquez Library since 1990 to 2014. Articles meeting the inclusion criteria, such as randomized clinical trials, prospective and retrospective studies, and studies in early mixed dentition with 2 x 4 system, were evaluated and methodologically qualified by four researchers. **Results:** this study involved a custom methodological rating taken from Lagravere et al (2005). Four articles were finally selected, three of which were retrospective: Amlani et al (2007), with 26 patients, found root resorption in 8% of the sample, with no statistical significance. Mavragani et al (2002), with a sample of 146 patients, found longer roots in younger teeth, and Kim & Park (2004), with 59 patients, found higher resorption in maxillary lateral incisors. Da Silva et al (2005), with 46 patients, reported a prevalence of 4.4% in root resorption in central incisors. **Conclusions:** this systematic review must be taken cautiously due to the low and moderate level of evidence found. In general terms, there were no alterations in terms of root length or shape when teeth with open apices were subjected to fixed orthodontic forces. The risk of apical resorption was more related to treatment duration in teeth with both open and closed apices.

Key words: orthodontics, tooth apex, root resorption, systematic review.

Wasserman-Milhem I, Bravo-Casanova ML, Caraballo-Moreno FA, Granados-Pelayo DA, Restrepo-Bolívar CP. Orthodontic tooth movement in immature apices. A systematic review. Rev Fac Odontol Univ Antioq 2016; 27 (2): 367-388. DOI: <http://dx.doi.org/10.17533/udea.rfo.v27n2a7>

- 1 Odontólogo ortodoncista, Director de la Clínica de Tratamiento Temprano, posgrado de Ortodoncia, Universidad El Bosque, Bogotá, Colombia.
- 2 Odontólogo, residente del posgrado de Ortodoncia, Universidad El Bosque, Bogotá, Colombia.

RECIBIDO: NOVIEMBRE 11/14 - ACEPTADO: SEPTIEMBRE 29/15

- 1 Orthodontist, Head of Clínica de Tratamiento Temprano, Graduate Program in Orthodontics, Universidad El Bosque, Bogotá, Colombia.
- 2 DMD, Intern in the Graduate Program in Orthodontics, Universidad El Bosque, Bogotá, Colombia.

SUBMITTED: NOVEMBER 11/14 - ACCEPTED: SEPTEMBER 29/15

INTRODUCCIÓN

Diversos estudios en ápices totalmente cerrados reportan la respuesta dental y de los tejidos de soporte frente al movimiento ortodónico.^{1, 2} El movimiento dental con aparatos fijos genera una fuerza constante y continua que permite un remodelado óseo sin aparentes efectos deletéreos,³ según la teoría de presión-tensión,⁴ según la cual se produce reabsorción en la zona de presión y aposición en la zona de tensión.³ Las células responsables y reguladoras de este mecanismo son los osteoclastos, osteoblastos, osteocitos y sus mediadores químicos.^{5, 6} Cuando estas fuerzas son excesivas, ocasionan mayor área de hialinización,^{7, 8} necrosis y reabsorción ósea, lo cual genera daños en el periodonto, en la pulpa y en las raíces de los dientes.^{3, 9} De estos efectos, el más atribuido al tratamiento ortodónico es la reabsorción radicular externa.^{10, 11} Esta entidad ha sido ampliamente estudiada y se define como la pérdida del componente orgánico e inorgánico de los tejidos duros radiculares, como la dentina y el cemento,^{12, 13} asociada a otros factores como edad,^{13, 14} sexo,¹⁵ trauma,¹¹ maloclusión,^{16, 17} anatomía radicular,^{18, 19} tipo de aparato,²⁰ mecánica utilizada,¹⁶ características del movimiento dental,^{21, 22} tipo de fuerza^{23, 24} y tiempo de tratamiento.²⁵ Su causa, en términos generales, podemos decir que es multifactorial.¹⁰

El movimiento dental con ápices abiertos que no han terminado su formación radicular completa no ha sido estudiado suficientemente. Algunos autores^{26, 27} sugieren que el movimiento dental en ápices inmaduros podría ser un riesgo en la aparición de reabsorciones radiculares o en la disminución de la longitud radicular por cierre apical prematuro, como lo describieron Oppenheim en 1942 y Phillips en 1955, quienes lo atribuyen a la deformación de la Vaina de Hertwig, que altera la calcificación del ápice y por consiguiente el desarrollo radicular, impidiendo que llegue a su longitud máxima.^{26, 27} En el 2001, Consolaro y colaboradores señalaron que el movimiento de los dientes con formación radicular incompleta genera una disminución en la longitud radicular por el cierre temprano del ápice —el cual depende de la maduración

INTRODUCTION

Several studies in fully close apices report the response of teeth and supporting tissues to orthodontic movement.^{1, 2} Tooth movement with fixed appliances creates constant and continuous forces allowing bone remodeling with no apparent deleterious effects,³ according to the theory of pressure-tension,⁴ which states that reabsorption occurs in the area of pressure and apposition in the tension zone.³ The cells responsible for and regulators of this mechanism are osteoclasts, osteoblasts, osteocytes, and their chemical mediators.^{5, 6} When these forces are excessive, they cause a larger area of hyalinization,^{7, 8} necrosis, and bone resorption, producing damage in periodontium, pulp, and teeth roots.^{3, 9} Of these effects, the most commonly attributed to orthodontic treatment is external root resorption.^{10, 11} This condition has been widely studied and is defined as loss of organic and inorganic component of hard radicular tissue, such as dentin and cement,^{12, 13} associated with other factors such as age,^{13, 14} gender,¹⁵ trauma,¹¹ malocclusion,^{16, 17} root anatomy,^{18, 19} device type,²⁰ used mechanism,¹⁶ characteristics of tooth movement,^{21, 22} force type,^{23, 24} and treatment time.²⁵ We can say that its cause is in general multifactorial.¹⁰

Tooth movement with open apices which have not completed root formation has not been sufficiently studied. Some authors^{26, 27} suggest that tooth movement in immature apices could be a risk factor for root resorption or reduced root length by premature apical closure, as described by Oppenheim in 1942 and Phillips in 1955, who attributed it to the deformation of Hertwig sheath, which alters the calcification of apex and therefore root development preventing it from reaching maximum length.^{26, 27} In 2001, Consolaro et al noted that the movement of teeth with incomplete root formation creates a decrease in root length by early apex closing—which depends on embryo maturation

embrionaria del tejido papilar y pericoronario del folículo dental— y no por reabsorción radicular.²⁸ Por otra parte, algunos autores^{25, 29} reportan que el movimiento dental no produce efectos adversos en dientes con ápices inmaduros, como lo describen Sameshima y Sinclair en 2001, quienes observaron mayor resistencia a la reabsorción radicular.²⁵

El objetivo de esta revisión es determinar los efectos a largo plazo del movimiento dental ortodóncico en dientes que no han terminado su formación radicular.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta revisión sistemática se fundamentó en los lineamientos de Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA). Se utilizó el formato PICO para las revisiones sistemáticas (tabla 1).

Tabla 1. *Formato PICO*

| | |
|----------------|--|
| Participantes | Niños en dentición mixta temprana |
| Intervención | Sistema 2 x 4 |
| Comparación | Grupo control no intervenido |
| Outcome | Cambios en la longitud radicular, ausencia de cierre apical, reabsorción radicular |
| Hipótesis nula | No se producen cambios en la raíz del diente con ápice inmaduro cuando éste es movido por fuerzas ortodóncicas |

Se hizo una búsqueda electrónica en las siguientes bases de datos: PubMed, Cochrane, Dentistry and Oral Sciences Source, Science Direct, Google Scholar, IdeA, ProQuest, Embase, Medline, Lilacs, TRIP. También se realizó una búsqueda manual y de literatura gris en la biblioteca Juan Roa Vásquez de la Universidad El Bosque.

Para la selección de los estudios se aplicaron los siguientes criterios de inclusión: artículos publicados entre 1990 y 2014, estudios en humanos, ensayos clínicos aleatorizados, metaanálisis, estudios prospectivos y retrospectivos en todos los idiomas, estudios realizados en dentición mixta temprana con sistema 2 x 4 y que utilicen radiografías periapicales. Los criterios de exclusión fueron: estudios con pacientes con síndromes y labio paladar fisurado (LPF), antecedentes de trauma dentoalveolar, series de casos y reportes de casos (tabla 2).

of papillary and pericoronary tissue of dental follicle—and not by root resorption.²⁸ On the other hand, some authors^{25, 29} report that tooth movement does not produce adverse effects on teeth with immature apices, as described by Sameshima and Sinclair in 2001, who observed greater resistance to root resorption.²⁵

The goal of this review is to determine the long-term effects of orthodontic tooth movement in teeth that have not completed root formation.

MATERIALS AND METHODS

This systematic review was based on the guidelines of Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA). It used the PICO format for systematic reviews (table 1).

Table 1. *PICO Format*

| | |
|-----------------|---|
| Participants | Children in early mixed dentition |
| Intervention | System 2 x 4 |
| Comparison | Non-intervention control group |
| Outcome | Changes in root length, absence of apical closure, root resorption |
| Null hypothesis | No changes in the root of teeth with immature apex when moved by orthodontic forces |

An electronic search was conducted in the following databases: PubMed, Cochrane, Dentistry and Oral Sciences Source, Science Direct, Google Scholar, IdeA, ProQuest, Embase, Medline, Lilacs, TRIP. A manual search was also conducted for grey literature in Universidad El Bosque Juan Roa Vásquez Library.

The following inclusion criteria were used for article selection: articles published since 1990 to 2014, studies in humans, clinical randomized trials, meta-analysis, prospective and retrospective studies in all languages, studies in early mixed dentition with 2 x 4 system using periapical radiographs. The exclusion criteria were: studies on patients with syndromes and cleft lip and palate (CLP), history of dentoalveolar trauma, case series, and case reports (table 2).

Tabla 2. Criterios de inclusión y exclusión

| Criterios de inclusión |
|--|
| Humanos |
| Ensayos clínicos aleatorizados, metaanálisis |
| Estudios prospectivos y retrospectivos |
| Todos los idiomas |
| 1990-2014 |
| Dentición mixta temprana con sistema 2 x 4 |
| Estudios que utilicen Rx periapicales |
| Criterios de exclusión |
| Pacientes con síndromes y LPF |
| Antecedentes de trauma dentoalveolar |
| Series de casos, reportes de casos |

Para la búsqueda electrónica y manual, se utilizaron las siguientes palabras clave: *Orthodontic fixed appliances, orthodontic tooth movement, incomplete root formation, apical root closure, root maturation, root resorption* (tabla 3).

Tabla 3. Bases de datos

| Base de datos | Número de artículos |
|------------------------------------|---------------------|
| PubMed | 738 |
| Cochrane | 3 |
| Dentistry and Oral Sciences Source | 1.414 |
| Science Direct | 2.022 |
| Google Scholar | 117 |
| IdeA | 45 |
| ProQuest | 1.478 |
| Embase | 27 |
| Medline | 10 |
| Lilacs | 11 |
| TRIP | 5 |

La selección inicial de los artículos se basó en la lectura del título y luego del resumen para escoger los estudios más relevantes según los criterios de inclusión; posteriormente se revisó el texto completo de los artículos seleccionados.

La pregunta de investigación fue: ¿Podría el movimiento dental ortodónico en dientes inmaduros inducir cambios en la longitud radicular, ausencia de cierre apical, reabsorción radicular o ninguna alteración, al ser comparados con un grupo no intervenido?

Table 2. Inclusion and exclusion criteria

| Inclusion criteria |
|---|
| Human beings |
| Clinical randomized trials, meta-analysis |
| Prospective and retrospective studies |
| All languages |
| 1990-2014 |
| Early mixed dentition with 2 x 4 system |
| Studies using periapical Rx |
| Exclusion criteria |
| Patients with syndromes and CLP |
| History of dentoalveolar trauma |
| Case series, case reports |

The following key words were used for both the electronic and manual search: *orthodontic fixed appliances, orthodontic tooth movement, incomplete root formation, apical root closure, root maturation, root resorption* (table 3).

Table 3. Databases

| Database | Number of articles |
|------------------------------------|--------------------|
| PubMed | 738 |
| Cochrane | 3 |
| Dentistry and Oral Sciences Source | 1.414 |
| Science Direct | 2.022 |
| Google Scholar | 117 |
| IdeA | 45 |
| ProQuest | 1.478 |
| Embase | 27 |
| Medline | 10 |
| Lilacs | 11 |
| TRIP | 5 |

The initial selection of articles involved reading titles and abstracts to choose the most relevant studies according to the inclusion criteria; the full texts of selected articles were then reviewed.

The research question was: ¿Can orthodontic tooth movement in immature teeth induce changes in root length, absence of apical closure, root resorption, or no alteration at all, compared with a group that has not been intervened?

Las palabras clave, los criterios de inclusión y la selección de los artículos se realizaron independientemente por los cuatro investigadores, y cualquier desacuerdo se resolvió mediante la discusión.

La calificación metodológica de los estudios se basó en la revisión sistemática efectuada por Lagravere y colaboradores,³⁰ a la cual se le hicieron las modificaciones descritas en la tabla 4.

Key words, inclusion criteria and article selection were carried out by four independent researchers, and all disagreements were resolved by discussion.

The methodological qualification of studies was based on the systematic review by Lagravere et al,³⁰ which was modified as described in table 4.

Tabla 4. Protocolo de calificación metodológica

| Ítems de evaluación | | Puntaje* |
|---|---|------------------------|
| 1. Diseño del estudio | | (/ 9 puntos posibles) |
| A. Objetivo: El objetivo está claramente formulado | | |
| B. Población: se describieron sus características | | |
| C. Criterios de selección | 1. Claramente descritos | |
| | 2. Adecuados | |
| D. Tamaño de muestra | 1. Adecuada | |
| | 2. Calculada antes de la recolección de los datos | |
| E. Características de línea base: Características similares de línea base entre grupos de estudio | | |
| F. Tiempo de medición: Prospectivo/Retrospectivo | | |
| G. Aleatorización: establecida o descrita | | |
| 2. Medidas del estudio | | (/ 5 puntos posibles) |
| H. Método de medición apropiado al objetivo del estudio | | |
| I. Mediciones a ciegas | 1. Examinador | |
| | 2. Estadístico | |
| J. Confiabilidad: calibración de examinadores | 1. Descrita | |
| | 2. Adecuado nivel de acuerdo | |
| 3. Análisis estadístico | | (/ 6 puntos posibles) |
| K. Medición de error: descrita | | |
| L. Análisis estadístico | 1. Apropiado para el tipo de dato | |
| | 2. Análisis combinando de subgrupos | |
| M. Factores de confusión: incluidos en análisis | | |
| N. Nivel de significancia estadística | Valor de p establecido | |
| | Intervalos de confianza | |

Table 4. Protocol of methodological qualification

| Evaluated items | | Score* |
|--|--------------------------------------|-----------------------|
| 1 Study design | | (/ 9 possible points) |
| A. Objective: the objective is clearly formulated | | |
| B. Population: Characteristics were described | | |
| C. Selection criteria | 1. Clearly described | |
| | 2. Accurate | |
| D. Sample size | 1. Accurate | |
| | 2. Calculated before data collection | |
| E. Baseline characteristics: Similar baseline characteristics among study groups | | |
| F. Measurement time: Prospective/Retrospective | | |
| G. Randomization: established or described | | |
| 2 Measures of the study | | (/ 5 possible points) |
| H. Method of measurement is appropriate to the study's objective | | |
| I. Blind measurements | 1 Examiner | |
| | 2 Statistics | |
| J. Reliability: calibration of examiners | 1 Described | |
| | 2. Adequate level of agreement | |
| 3. Statistical analysis | | (/ 6 possible points) |
| K. Error measurement: described | | |
| L. Statistical analysis | 1. Accurate for data type | |
| | 2. Combined analysis of subgroups | |
| M. Confounding factors: included in analysis | | |
| N. Level of statistical significance | Established p-value | |
| | Confidence intervals | |

Todos los artículos elegidos en texto completo fueron sometidos a esta calificación. El puntaje máximo correspondía a 20 puntos (tabla 5). Los investigadores calificaron independientemente cada uno de los artículos seleccionados, y obtuvieron una escala de evaluación metodológica calculando un CCI (coeficiente de correlación intraclase). Los valores fluctuaron entre 0,97 y 1, los cuales son valores adecuados de concordancia (tabla 6).

All selected full-text articles were subjected to this qualification. The maximum score was 20 points (table 5). The researchers independently scored each of the selected articles, obtaining a methodological assessment scale by calculating ITC (intraclass correlation coefficient). The values ranged from 0.97 to 1, which are appropriate concordance values (table 6).

Tabla 5. Escala de puntuación metodológica

| Rango | Calidad |
|--------------|----------|
| 1-7 Puntos | Baja |
| 8-13 Puntos | Moderada |
| 14-20 Puntos | Alta |

Table 5. Methodological scoring scale

| Range | Quality |
|--------------|----------|
| 1-7 points | Low |
| 8-13 points | Moderate |
| 14-20 points | High |

Tabla 6. Puntaje de calificación metodológica de los artículos seleccionados

| Autor/año | A | B | C | | D | | E | F | G | H | I | | J | | K | L | | M | | N | Total | Calidad |
|------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | | |
| Kim y Park, 2004 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 8 | Moderada |
| Da Silva et al., 2005 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | Baja |
| Amlani et al., 2007 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 4 | Baja |
| Mavragani et al., 2002 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 10 | Moderada |

Table 6. Methodological rating score of selected articles

| Author/year | A | B | C | | D | | E | F | G | H | I | | J | | K | L | | M | | N | Total | Quality |
|-----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | | |
| Kim and Park, 2004 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 8 | Moderate |
| Da Silva et al, 2005 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | Low |
| Amlani et al, 2007 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 4 | Low |
| Mavragani et al, 2002 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 10 | Moderada |

RESULTADOS

Los resultados de la búsqueda se observan en el flujo-grama (figura 1). La búsqueda electrónica arrojó como resultado 5.870 artículos (PubMed 738, Cochrane 3, Dentistry and oral Sciences Source 1.414, Science Direct 2.022, Google Scholar 117, IdeA 45, ProQuest 1.478, Embase 10, Medline 27, Lilacs 11, TRIP 5).

RESULTS

The search results are described in the flow diagram (Figure 1). The electronic search yielded 5,870 articles (PubMed 738, Cochrane 3, Dentistry and oral Sciences Source 1,414, Science Direct 2,022, Google Scholar 117, IdeA 45, ProQuest 1,478, Embase 10, Medline 27, Lilacs 11, TRIP 5).

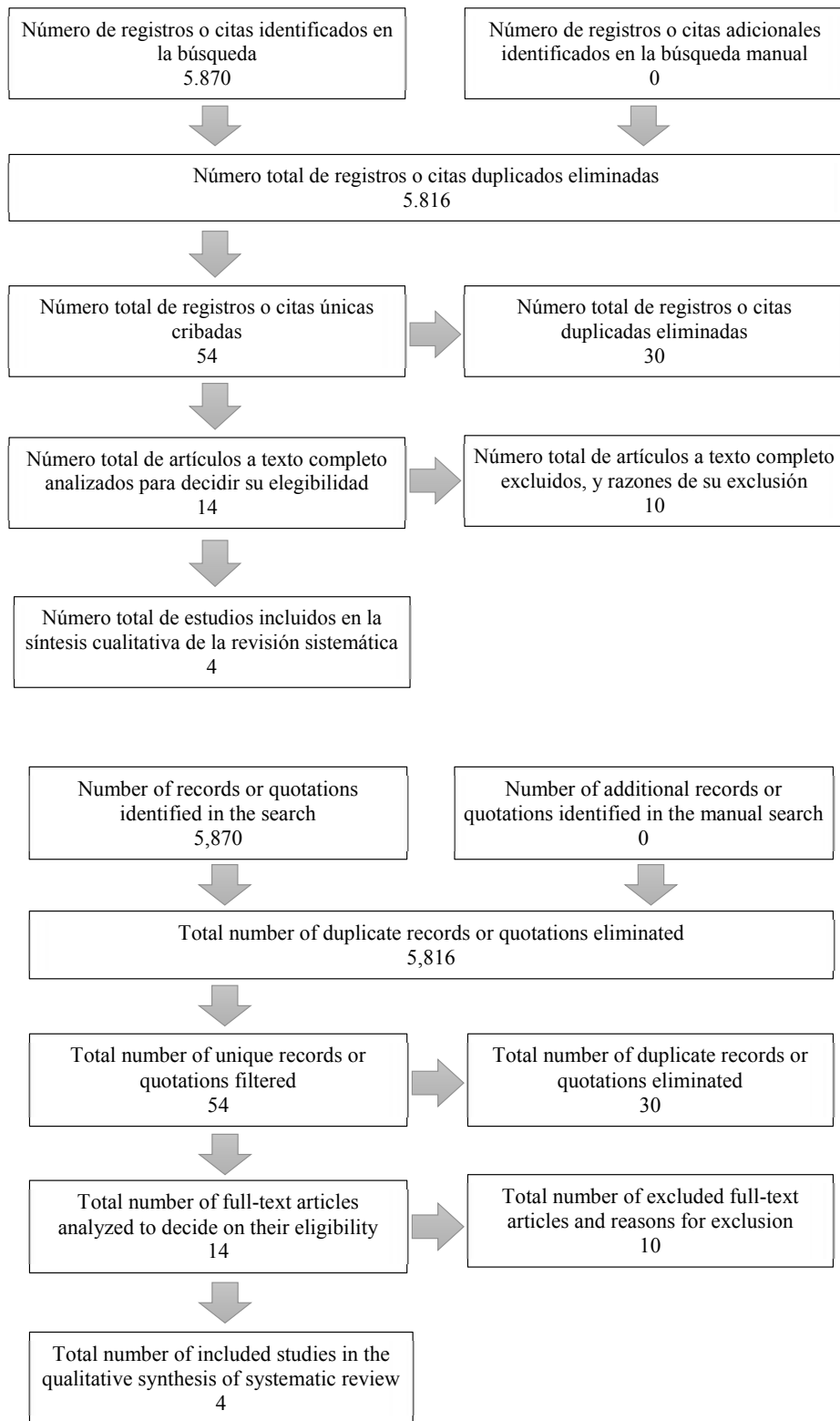


Figura 1. Flujograma

Figure 1. Flowchart

La búsqueda manual no arrojó ningún resultado. Luego de revisar los títulos y eliminar los registros y citas duplicadas, 54 artículos cumplieron con los criterios de inclusión. Después de leer los resúmenes, se seleccionaron 14 artículos para su lectura en texto completo; se excluyeron 10 artículos por las siguientes razones: eran estudios histológicos, los dientes tratados presentaban trauma o tratamiento endodóntico previo, o eran artículos de opinión de expertos o de revisión de la literatura (tabla 7). Finalmente, 4 artículos se seleccionaron para llevar a cabo la evaluación metodológica. Las características de los artículos se encuentran en la tabla 8. Esta muestra no fue suficiente para realizar pruebas de heterogeneidad estadística como la prueba Q de Cochran, I cuadrado o prueba H. Por lo tanto, los resultados se presentarán de forma cualitativa para responder a la siguiente pregunta de investigación: *¿Cuáles son los efectos del movimiento dental ortodóncico en dientes que no han terminado su formación radicular?*

The manual search did not yield any results. After reviewing titles and eliminating duplicate records and quotations, 54 articles met the inclusion criteria. After reading the abstracts, 14 articles were selected for reading in full-text; 10 articles were excluded for the following reasons: they were histological studies, the treated teeth showed trauma or previous endodontic treatment, or were opinion articles by experts or literature reviews (table 7). Finally, 4 articles were selected and the methodological evaluation was conducted. The characteristics of articles are listed in table 8. This sample was not sufficient to run tests of statistical heterogeneity such as the Cochran's Q test, I² or H test. Therefore, the results will be presented in a qualitative manner to answer the following research question: *What are the effects of orthodontic tooth movement in teeth that have not completed root formation?*

Tabla 7. Artículos excluidos

| Artículo | Autores | Motivo |
|---|--|--|
| Longitudinal clinical and radiographic evaluation of severely intruded permanent incisors in a pediatric population | Neto Godhin De Carvalho Giro ⁴² | Se realizó en dientes tratados endodónticamente |
| Endodontic-orthodontic relationship: a review of integrated treatment planning challenges | Hamilton Gutmann ³⁸ | Estudio <i>in vitro</i> . Pruebas histológicas |
| A radiographic comparison of apical root resorption after orthodontic treatment with the edgewise and speed appliances | Blake Woodside Pharoah ¹² | Realizado en pacientes con dentición permanente |
| Quantitative digital subtraction radiography in the assessment of external apical root resorption induced by orthodontic therapy: A retrospective study | Sunku et al ⁴³ | Los pacientes comenzaron el tratamiento de ortodoncia en dentición mixta tardía y dentición permanente completa. |
| Treatment and orthodontic movement of a root-fractured maxillary central incisor with an immature apex: ten-year follow-up | Mendoza Solano Segura-Egea ⁴⁴ | Los dientes presentaban antecedente de trauma |
| Orthodontic tooth movement in the mixed dentition: Histological study of a human specimen | Rudzki-Janson Paschos Diedrich ⁴⁵ | Es un estudio histológico en un individuo con algún tipo de enfermedad, no cumple con los criterios de inclusión |
| Determination of working length for teeth with wide or immature apices: a review | Kim y Chandler ⁴⁶ | Realizado en dientes con endodoncia |
| Risk factors of root resorption after orthodontic treatment. | Lopatiene Dumbravaite ¹⁴ | Es una revisión de la literatura de 2002 a 2007 |
| The effect of fixed orthodontic treatment on developing maxillary incisor root apices | Fenn ⁴⁷ | No se encontró el texto completo |
| The effects of a four-fold increased orthodontic force magnitude on tooth movement and root resorptions. An intra-individual study in adolescents | Owman-Moll ⁴⁸ | Estudio realizado en premolares |

Table 7. Excluded articles

| Article | Authors | Reason |
|---|--|--|
| Longitudinal clinical and radiographic evaluation of severely intruded permanent incisors in a pediatric population | Neto Godhin De Carvalho Giro ⁴² | It was conducted in endodontically treated teeth |
| Endodontic-orthodontic relationship: a review of integrated treatment planning challenges | Hamilton Gutmann ³⁸ | <i>In vitro</i> study. Histological tests |
| A radiographic comparison of apical root resorption after orthodontic treatment with the edgewise and speed appliances | Blake Woodside Pharoah ¹² | In patients with permanent dentition |
| Quantitative digital subtraction radiography in the assessment of external apical root resorption induced by orthodontic therapy: A retrospective study | Sunku et al ⁴³ | Patients started orthodontic treatment in mixed dentition and full permanent dentition. |
| Treatment and orthodontic movement of a root-fractured maxillary central incisor with an immature apex: ten-year follow-up | Mendoza Solano Segura-Egea ⁴⁴ | Because teeth had history of trauma |
| Orthodontic tooth movement in the mixed dentition: Histoogical study of a human specimen | Rudzki-Janson Paschos Diedrich ⁴⁵ | It is a histological study in an individual with some type of disease; it does not meet the inclusion criteria |
| Determination of working length for teeth with wide or immature apices: a review | Kim Chandler ⁴⁶ | It is in teeth with root canal treatment |
| Risk factors of root resorption after orthodontic treatment. | Lopatiene Dumbraivaite ¹⁴ | It is a literature review from 2002 to 2007 |
| The effect of fixed orthodontic treatment on developing maxillary incisor root apices | Fenn ⁴⁷ | Full text was not found |
| The effects of a four-fold increased orthodontic force magnitude on tooth movement and root resorptions. An intra-individual study in adolescents | Owman-Moll ⁴⁸ | Study conducted in premolars |

Tabla 8. Descripción de los estudios seleccionados

| Autores /Año | Muestra | Edad | Grupos empleados | Técnica | Tiempo de observación |
|------------------------|---------------|--------------------------|---|---|-------------------------|
| Kim y Park, 2004 | 59 pacientes | 8 a 10 años +/- 9,8 años | Grupo experimental ápices inmaduros (28) | Ortodoncia correctiva | No fue descrito |
| | | 11 a 15 años +/- 12,9 | Grupo control ápices maduros (31) | | |
| Da Silva et al., 2005 | 46 pacientes | Hombres +/- 9,3 años | Solo grupo tratado 46 pacientes | Ortodoncia 2 x 4 | Hombres 7 meses |
| | | Mujeres +/-7,2 años | 79 incisivos centrales superiores 12 incisivos centrales inferiores | | Mujeres 7 meses y medio |
| Amlani et al., 2007 | 26 pacientes | ND | Solo grupo tratado 26 pacientes 50 Rx incisivos laterales 50 Rx caninos | Ortodoncia 2 x 4 | No fue descrito |
| Mavragani et al., 2002 | 146 pacientes | 12,7 años +/- 8,0- 35,5 | Grupo tratado 80 66 controles no tratados | 40 pacientes con ortodoncia correctiva edge wise y 40 pacientes con estándar slot 0,018 | No fue descrito |

Continuación de la tabla 8. Descripción de los estudios seleccionados

| Autores /Año | Variables evaluadas | Valor de <i>p</i> | Resultados |
|--|--|--|--|
| Kim y Park, 2004 | Longitud radicular de incisivos superiores antes y después del tratamiento | Significativo $p < 0,001$ entre ambos grupos | Los cuatro incisivos demostraron un aumento en la longitud radicular y el crecimiento se completó en un 70%, mientras que en el grupo control la raíz se reabsorbió en un 60%. |
| | Diferencias en la forma radicular entre los grupos utilizando el sistema de medición de Levander y Malmgren | Diferencia significativa $p < 0,05$ | La forma radicular del grupo experimental tenía el valor más bajo (0,46) en el incisivo lateral derecho y el incisivo central izquierdo, y un valor de 0,50 en el incisivo lateral izquierdo y el incisivo central derecho. En contraste, todos los incisivos del grupo control se encontraron entre 0,90 y 0,97. |
| | Relación corono-radicular entre los grupos | Significativa en postratamiento $p < 0,001$ | La relación corono-radicular en ambos grupos no demostró diferencias antes del tratamiento pero sí se encontraron diferencias significativas después del tratamiento, con una correlación alta para el incisivo lateral izquierdo. |
| | Duración del tratamiento y el achatamiento radicular | Significativa ($p < 0,05$). | Hubo correlación en el grupo experimental entre la duración prolongada del tratamiento y el achatamiento radicular. |
| | Desplazamiento del incisivo y reabsorción radicular en el grupo control | Significativa ($p < 0,05$) | En el grupo control, hubo una correlación significativa entre el desplazamiento del incisivo y la cantidad de reabsorción radicular. |
| Da Silva et al., 2005 | Imágenes de reabsorción radicular en incisivos superiores e inferiores después del tratamiento | No se determinó | Cinco examinadores no encontraron imágenes de reabsorción radicular en ninguna de las radiografías evaluadas. Uno de los examinadores diagnosticó reabsorción radicular en cuatro incisivos. Con el análisis estadístico descriptivo simple, la prevalencia de reabsorción radicular entre los cinco examinadores en los 91 incisivos centrales permanentes correspondía al 4,4%. |
| Amlani et al., 2007 | Relación corono-radicular de incisivos laterales después del tratamiento | Significativo $p = 0,021$ | La reabsorción radicular se observó en 4 de los 50 incisivos laterales (8%). El análisis estadístico demostró que la relación corono-radicular de los incisivos laterales con reabsorción radicular fue más grande para los incisivos laterales que no presentaban reabsorción radicular. |
| Mavragani et al., 2002 | Relación entre la edad y la técnica utilizada | No significativo $p = 0,496$ | No hubo diferencias significativas entre la edad pretratamiento y la técnica utilizada. |
| | Relación entre dientes con raíces completas o incompletas y la técnica utilizada | No significativo $p = 0,23$ para el diente 12, $p = 0,17$ para el diente 11, $p = 0,56$ para el diente 21 y $p = 0,11$ para el diente 22 | No hubo diferencia significativa entre los dientes con raíces completas o incompletas en relación con la técnica de tratamiento. |
| | Relación entre la edad pretratamiento y la longitud radicular | Significativo $p < 0,05$ | La edad pretratamiento fue mayor en los pacientes que demostraron acortamiento radicular de los incisivos laterales que en los que presentaron elongación radicular. |
| | Estado de desarrollo radicular antes del tratamiento y raíces cortas o largas después del tratamiento | Significativo $p = 0,002$ para el 12, $p = 0,030$ para el 11, $p = 0,356$ para el 21 y $p = 0,014$ para el 22 | Se encontraron raíces más largas cuando estas estaban poco desarrolladas antes del tratamiento. |
| | Alargamiento radicular en relación con el grupo control | No significativo $p = 0,65$ para el diente 12 $p = 0,63$ para el diente 11 $p = 0,012$ para el diente 21 $p = 0,74$ para el diente 22 | Para el diente 12, el valor promedio para el aumento de la longitud radicular fue de 1,21 mm y en el grupo control el aumento fue de 0,92 mm. Para el diente 11, el valor promedio para el aumento de la longitud fue de 0,68 mm y para el grupo control fue de 0,82 mm. La cantidad de elongación promedio para el 21 fue 0,85 mm y para el grupo control -0,08 mm. Para el diente 22, la elongación fue de 1,16 mm, mientras que para el grupo control fue de 1,71 mm. |
| Relación entre raíces inmaduras y raíces maduras antes del tratamiento | Significativo $p = 0,03$ para el diente 12 $p = 0,025$ para el diente 21 $p = 0,003$ para el diente 22 $p = 0,111$ para el diente 11 | En tres de los dientes estudiados, las raíces inmaduras al inicio del tratamiento alcanzaron una longitud significativamente más larga que aquellas que ya estaban completamente formadas después del tratamiento. La diferencia fue significativa para el diente 12; la longitud postratamiento promedio para raíces completas fue de 14,71 mm y para las raíces incompletas fue de 17,46 mm. Diente 21 (15,30 mm y 18,98 mm); diente 22 (14,14 mm y 17,79 mm). Para el diente 11, la diferencia no alcanzó diferencias significativas (15,51 mm y 16,98 mm). | |

Table 8. Description of selected studies

| Authors / year | Sample | Age | Groups used | Technique | Time of observation |
|-----------------------|--------------|----------------------------|---|---|---|
| Kim & Park, 2004 | 59 patients | 8 to 10 years +/-9.8 years | Experimental group immature apices (28) | Corrective orthodontics | Not described |
| | | 11-15 years +/- 12.9 | Control group mature apices (31) | | |
| Da Silva et al, 2005 | 46 patients | Males +/-9.3 years | Only group treated 46 patients | Orthodontics 2 x 4 | Males 7 months Females 7 months and a half |
| | | Females +/-7.2 years | 79 upper central incisors 12 lower central incisors | | |
| Amlani et al, 2007 | 26 patients | NA | Only group treated 26 patients 50 Rx of lateral incisors 50 Rx of canines | Orthodontics 2 x 4 | Not described |
| Mavragani et al, 2002 | 146 patients | 12.7 years +/- 8,0-35.5 | Group treated: 80 66 untreated controls | 40 patients with edge wise corrective orthodontics and 40 patients with standard slot 0.018 | Not described |

Table 8 continued. Description of selected studies

| Authors / year | Evaluated variables | p value | Results |
|----------------------|---|--|--|
| Kim & Park, 2004 | Root length of upper incisors before and after treatment | Significant p <0.001 between both groups | The four incisors showed increased root length and growth was completed in 70%, while in the control group the root was reabsorbed by 60%. |
| | Differences in root shape among groups using the system of measurement by Levander and Malmgren | Significant difference p <0.05 | Root shape of experimental group had the lowest values (0.46) in the right lateral and left central incisors, and a value of 0.50 in the left lateral and right central incisors. In contrast, all of the incisors of the control group were found between 0.90 and 0.97. |
| | Crown-root ratio inter-groups | Significant in post-treatment p <0.001 | Crown-root ratio in both groups showed no differences before treatment, but there were significant differences after treatment, with a high correlation for left lateral incisors. |
| | Duration of treatment and root flattening | Significant (p < 0.05). | There was correlation in the experimental group between duration of extended treatment and root flattening. |
| | Displacement of incisor and root resorption in control group | Significant (p < 0.05) | In the control group, there was significant correlation between movement of incisor and amount of root resorption. |
| Da Silva et al, 2005 | Images of root resorption in upper and lower incisors post-treatment | Not defined | Five examiners found no root resorption images in any of the evaluated radiographs. One of the examiners diagnosed root resorption in four incisors. The simple descriptive statistical analysis showed that prevalence of root resorption among five examiners in 91 permanent central incisors was 4.4%. |
| Amlani et al, 2007 | Crown-root ratio of lateral incisors post-treatment | Significant p = 0.021 | Root resorption occurred in 4 of 50 lateral incisors (8%). The statistical analysis showed that crown-root ratio in lateral incisors with root resorption was larger for the lateral incisors with no root resorption. |

| Authors / year | Evaluated variables | p value | Results |
|------------------------------|---|--|--|
| Mavragani et al, 2002 | Relationship between age and technique used | Non-significant p = 0.496 | There were no significant differences between pretreatment age and technique. |
| | Relationship between teeth with complete or incomplete roots and technique used | Non-significant p = 0.23 for tooth 12, p = 0.17 for tooth 11, p = 0.56 for tooth 21, and p = 0.11 for tooth 22 | There was no significant difference between teeth with complete or incomplete roots in relation to treatment technique. |
| | Relationship between pretreatment age and root length | Significant p < 0.05 | Pretreatment age was higher in patients with root shortening of lateral incisors than those with root elongation. |
| | State of root development pre-treatment and short or long roots post-treatment | Significant p = 0.002 for 12, p = 0.030 for 11, p = 0.356 for 21 and p = 0.014 for 22 | Longer roots were found when they were poorly developed prior to treatment. |
| | Root lengthening in relation to control group | Non-significant p = 0.65 for tooth 12 p = 0.63 for tooth 11 p = 0.012 for tooth 21 p = 0.74 for tooth 22 | For tooth 12, the average value of root length increase was 1.21 mm while this value was 0.92 mm in the control group. For tooth 11, the average value for length increase was 0.68 mm and for the control group was 0.82 mm. The average elongation amount for tooth 21 was 0.85 mm and for the control group 0.08 mm. For tooth 22, elongation was 1.16 mm, while for the control group was 1.71 mm |
| | Relationship between immature and mature roots pre-treatment | Significant p = 0.03 for tooth 12 p = 0.025 for tooth 21 p = 0.003 for tooth 22 p = 0,111 for tooth 11 | In three of the studied teeth, immature roots at baseline reached a significantly longer length than those that were already fully formed after treatment. The difference was significant for tooth 12; average post-treatment length for full roots was 14.71 mm and for incomplete roots 17.46 mm. Tooth 21 (15.30 mm and 18.98 mm); tooth 22 (14,14 mm and 17,79 mm). For tooth 11, the difference did not reach significant differences (15,51 mm and 16,98 mm). |

En el año 2005, Da Silva y colaboradores³¹ encontraron que 5 examinadores no hallaron imágenes de reabsorción radicular en ninguna de las radiografías evaluadas. Solo 2 examinadores detectaron pequeños signos de reabsorción radicular en las radiografías periapicales luego de la nivelación. Uno de los examinadores diagnosticó reabsorción radicular en 4 incisivos, y el otro en un solo incisivo que coincidía con uno de los 4 incisivos ya identificados. Con el análisis estadístico descriptivo simple, la prevalencia de reabsorción radicular entre los 5 examinadores en los 91 incisivos centrales permanentes correspondía al 4,4%.

Kim y Park en 2004,³² encontraron que los 4 incisivos demostraron un aumento en la longitud radicular y que el crecimiento radicular se completó en un 70% en el grupo experimental, mientras que en el grupo control la raíz se reabsorbió en un 60%. Los cambios en la longitud radicular entre ambos grupos fueron estadísticamente significativos ($p < 0,001$).

In 2005, Da Silva et al³¹ found out that 5 examiners found no root resorption images in any of the evaluated radiographs. Only 2 examiners detected small signs of root resorption in periapical radiographs after leveling. One of the examiners diagnosed root resorption in 4 incisors, and the other in a single incisor that coincided with one of the 4 incisors already identified. Simple descriptive statistical analysis showed that the prevalence of root resorption among 5 examiners in 91 permanent central incisors was 4.4%.

In 2004, Kim & Park³² found out that 4 incisors showed increased root length and that root growth was completed by 70% in the experimental group, while in the control group the root was reabsorbed by 60%. Changes in root length between the two groups were statistically significant ($p < 0.001$).

Mavragani y colaboradores, en 2002,³³ encontraron diferencias significativas para tres de los incisivos maxilares cuando se considera el estado pretratamiento de desarrollo radicular entre raíces acortadas y alargadas. Hallaron raíces más largas cuando estas estaban poco desarrolladas antes del tratamiento ($p = 0,002$ para el diente 12, $p = 0,030$ para el 11, $p = 0,356$ para el 21 y $p = 0,014$ para el 22).

Edad al inicio del tratamiento

Mavragani y colaboradores, en 2002,³³ observaron que la edad pretratamiento fue mayor en los pacientes que demostraron acortamiento radicular de los incisivos laterales que en los que presentaron elongación radicular ($p < 0,05$). Para el incisivo central, las diferencias en la edad no fueron significativas. El análisis de regresión reveló que la longitud radicular postratamiento de todos los dientes estudiados estuvo relacionada con la edad al inicio del tratamiento. El estado del desarrollo radicular demostró un coeficiente de correlación significativo solo para el incisivo lateral. En tres de los dientes estudiados, las raíces inmaduras al inicio del tratamiento alcanzaron una longitud significativamente más larga que la de aquellas que ya estaban completamente formadas después del tratamiento. La diferencia fue significativa para el diente 12, con longitud postratamiento promedio de 14,71 mm para raíces completas y de 17,46 mm para raíces incompletas ($p = 0,03$). Diente 21 (15,30 mm y 18,98 mm; $p = 0,025$); diente 22 (14,14 mm y 17,79 mm; $p = 0,003$). Para el diente 11, la diferencia no alcanzó diferencias significativas (15,51 mm, 16,98 mm; $p = 0,111$).

Longitud radicular pretratamiento

Kim y Park³² encontraron que, en el grupo experimental, la longitud radicular fue más larga antes del tratamiento en 24 incisivos laterales derechos (85,7%), 19 incisivos centrales derechos (67,9%), 22 incisivos centrales izquierdos (78,6%) y 21 incisivos laterales izquierdos (75%). Mientras que en el grupo control la longitud radicular fue más corta en 19 incisivos laterales derechos (61,3%),

In 2002, Mavragani et al³³ found significant differences for three of the maxillary incisors when considering the pretreatment state of root development between shortened and elongated roots. They found longer roots when they were poorly developed prior to treatment ($p = 0.002$ for tooth 12, $p = 0.030$ for 11, $p = 0.356$ for 21 and $p = 0.014$ for 22).

Age of treatment start up

In 2002, Mavragani et al³³ observed that pretreatment age was higher in patients with root shortening of lateral incisors compared with patients with root elongation ($p < 0,05$). For the central incisor, age differences were not significant. Regression analysis showed that post-treatment root length in all studied teeth was related to age at baseline. The state of root development showed significance of correlation coefficient for lateral incisors only. In three of the studied teeth, immature roots at baseline reached a significantly longer length than the ones that were already fully formed after treatment. The difference was significant for tooth 12, with an average post-treatment length of 14,71 mm for complete roots and 17.46 mm for incomplete roots ($p = 0.03$). Tooth 21 (15.30 mm and 18,98 mm; $p = 0.025$); tooth 22 (14.14 mm and 17.79 mm; $p = 0.003$). For tooth 11, the difference did not reach significant differences (15.51 mm, 16.98 mm; $p = 0.111$).

Pre-treatment root length

Kim & Park³² found out that, in the experimental group, root length was longer before treatment in 24 right lateral incisors (85.7%), 19 right central incisors (67.9%), 22 left central incisors (78.6%), and 21 left lateral incisors (75%). While in the control group root length was shorter in 19 right lateral incisors (61.3%),

23 incisivos centrales derechos (74,2%), 20 incisivos centrales izquierdos (64,5%) y 20 incisivos laterales izquierdos (64,5%). La relación corono-radicular entre los dos grupos no demostró una diferencia estadísticamente significativa antes del tratamiento, pero sí fue significativa después del tratamiento, con un alto coeficiente de correlación para el incisivo lateral izquierdo ($p < 0,001$).

Amlani y colaboradores, en 2007,³⁴ encontraron que la reabsorción radicular se observó en 4 de los 50 incisivos laterales (8%). El análisis estadístico demostró que la relación corono-radicular de los incisivos laterales fue más grande para los incisivos laterales que no presentaban reabsorción radicular ($p = 0,021$).

Longitud radicular durante el tratamiento

Mavragani y colaboradores³³ encontraron que la evaluación de los cambios en la longitud radicular durante el tratamiento reveló un promedio de pérdida de la longitud radicular de 1,86 mm (SE 0,26; rango -3,8 a 6,54 mm) para el diente 12; 1,82 mm (SE 0,26; rango -3,82 a 8,9 mm) para el diente 11; 1,93 mm (SE 0,25; rango -5,7 a 6,27 mm) para el 21 y 1,78 mm (SE 0,33; rango -8,39 a 7,48 mm) para el 22. Se encontraron valores negativos, que indican elongación radicular, en 50 de 280 dientes.

Longitud radicular después del tratamiento

Kim y Park³² encontraron diferencias estadísticamente significativas en la forma radicular, haciendo uso del sistema de medición de Levander y Malmgren, el cual utiliza cinco grados de reabsorción para identificar el nivel de reabsorción radicular. El grupo experimental tenía el valor más bajo (0,46) en el incisivo lateral derecho y el incisivo central izquierdo, y un valor de 0,50 en el incisivo lateral izquierdo y el incisivo central derecho. En contraste, todos los incisivos del grupo control se encontraron entre 0,90 y 0,97. La diferencia fue estadísticamente significativa para los cuatro incisivos, con un valor $p < 0,05$. La relación corono-radicular en ambos grupos no demostró diferencias antes del tratamiento,

23 right central incisors (74.2%), 20 left central incisors (64.5%) and 20 left lateral incisors (64.5%). Crown-root ratio between the two groups did not show statistically significant differences before treatment, but differences were significant after treatment, with a high coefficient of correlation for left lateral incisors ($p < 0.001$).

In 2007, Amlani et al³⁴ found root resorption in 4 of 50 lateral incisors (8%). Statistical analysis showed that crown-root ratio in lateral incisor was larger for the lateral incisors with no root resorption ($p = 0.021$).

Root length during treatment

Mavragani et al³³ found that evaluation of changes in root length during treatment showed an average of root length loss of 1.86 mm for tooth 12 (0.26 SE, -3.8 to 6.54 mm range); 1.82 mm for tooth 11 (0.26 SE, -3.82 to 8.9 mm range); 1.93 mm for tooth 21 (0.25 SE, -5.7 to 6.27 mm range) and 1.78 mm for tooth 22 (0.33 SE, -8.39 to 7.48 mm range). Negative values were found in 50 of 280 teeth, suggesting root canal elongation.

Post-treatment root length

Kim & Park³² found statistically significant differences in root shape by means of the Levander & Malmgren measuring system, which uses five resorption degrees to identify levels of root resorption. The experimental group had the lowest value (0.46) in the right lateral and left central incisors, and a value of 0.50 in the left lateral and right central incisors. In contrast, all of the incisors in the control group were found between 0.90 and 0.97. The difference was statistically significant for the four incisors, with < 0.05 p value. Crown-root ratio in both groups showed no pre-treatment differences,

pero sí se encontraron diferencias significativas después del tratamiento, con una correlación alta para el incisivo lateral izquierdo ($p < 0,001$).

Mavragani y colaboradores³³ encontraron que las raíces alargadas durante el tratamiento tenían una longitud radicular similar a aquellas raíces no tratadas en individuos de la misma edad. Para el diente 12, el valor promedio de aumento de la longitud radicular fue de 1,21 mm y en el grupo control el aumento fue de 0,92 mm ($p = 0,65$). Para el diente 11, el valor promedio de aumento de la longitud fue de 0,68 mm, y para el grupo control fue de 0,82 mm ($p = 0,63$). La cantidad de elongación promedio para el diente 21 fue de 0,85 mm y para el grupo control fue de -0,08mm ($p = 0,012$). Para el diente 22, la elongación fue de 1,16 mm, mientras que para el grupo control fue de 1,71 mm ($p = 0,74$).

Técnica utilizada y la edad antes del tratamiento

Mavragani y colaboradores³³ no encontraron diferencias significativas entre la edad pretratamiento y la técnica utilizada ($p = 0,496$). Así mismo, no hubo diferencia significativa entre los dientes con raíces completas o incompletas en relación con la técnica de tratamiento. ($p = 0,23$ para el diente 12, $p = 0,17$ para el diente 11, $p = 0,56$ para el diente 21 y $p = 0,11$ para el diente 22).

Duración del tratamiento y reabsorción radicular

Kim y Park³² encontraron correlación en el grupo experimental entre la duración del tratamiento y el achatamiento radicular ($p < 0,05$).

DISCUSIÓN

En la presente revisión sistemática se incluyeron cuatro artículos con un nivel de evidencia entre baja y moderada. De los cuatro artículos, tres fueron retrospectivos y uno prospectivo. Ninguno calculó el tamaño de la muestra; tampoco reportaron aleatorización ni el cegamiento

but there were significant post-treatment differences, with a high correlation for the left lateral incisor ($p < 0.001$).

Mavragani et al³³ found out that roots which elongated during treatment had a root length similar to that of un-treated roots in individuals of the same age. For tooth 12, the average value of root length increase was 1.21 mm and in the control group the increase was 0.92 mm ($p = 0.65$). For tooth 11, the average value of length increase was 0.68 mm, and for the control group was 0.82 mm ($p = 0.63$). The amount of average elongation for tooth 21 was 0.85 mm and for the control group was -0.08 mm ($p = 0.012$). For tooth 22, elongation was 1.16 mm, while for the control group was 1.71 mm ($p = 0.74$).

Technique used and pre-treatment age

Mavragani et al³³ found no significant differences between pretreatment age and technique used ($p = 0.496$). Similarly, there was no significant difference between teeth with incomplete or complete roots in relation to treatment technique ($p = 0.23$ for tooth 12, $p = 0.17$ for tooth 11, $p = 0.56$ for tooth 21 and $p = 0.11$ for tooth 22).

Duration of treatment and root resorption

Kim & Park³² found correlation between treatment duration and root flattening ($p < 0.05$) in the experimental group.

DISCUSSION

This systematic review included four articles with low to moderate levels of evidence. Of the four articles, three were retrospective and one was prospective. None of them calculated sample size, and they did not report randomization nor

del investigador ni del estadístico. Asimismo, no se reportó la concordancia intraexaminador en ninguno de los estudios y no se establecieron intervalos de confianza. Solo un estudio consideró los factores de confusión, determinación del error de medición y calibración intraexaminador.

Existen pocos estudios acerca del comportamiento radicular en dientes con ápices abiertos en donde el proceso biológico de formación radicular aún se encuentra en proceso. Se presenta controversia sobre el riesgo biológico que tiene el movimiento ortodóncico en ápices inmaduros. Por una parte, algunos autores^{30, 36, 37} coinciden en que los dientes que no han completado su formación radicular son menos propensos a presentar reabsorción después de inducir el movimiento con aparatos fijos. Asimismo, Linge y colaboradores³⁷ y Mavragani y colaboradores³³ reportan menores daños radiculares en ápices con formación radicular incompleta. Sin embargo, Hendrix y colaboradores²⁹ encuentran que los dientes con ápices abiertos que no alcanzan la longitud normal promedio presentan raíces más largas, comparadas con dientes con ápices cerrados, probablemente por el desplazamiento del ápice durante el tratamiento. Hamilton y Gutmann³⁸ reportan que se produce un cierre apical prematuro al aplicar fuerzas ortodóncicas en ápices inmaduros. En consecuencia, la principal variable evaluada en su revisión sistemática fueron los cambios que se presentaron cuando se hicieron movimientos dentales en ápices que no habían terminado su formación radicular.

En cuanto a los cambios en la longitud radicular antes y después del tratamiento, el estudio de Kim y Park³² encuentra una diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos, de modo que se reporta un aumento de la longitud radicular que se completa en un 70%, mientras que en el grupo control la raíz se reabsorbe en un 60%. Dicho estudio concluye que el grado de reabsorción es leve, debido a que los participantes en el mismo fueron tratados sin exodoncias y por lo tanto la distancia del desplazamiento y la duración fueron cortas.

researcher or statistician blinding. Also, none of them reported intra-examiner concordance and none established confidence intervals. Only one study considered confounders, measurement error, or intra-examiner calibration.

There are few studies on root behavior in teeth with open apices where the biological process of root formation is still in process. There is controversy over the biological risk of orthodontic movement in immature apices. On the one hand, some authors^{30,36,37} agree that teeth that have not completed root formation are less prone to resorption after inducing movement with fixed appliances. In addition, Linge et al³⁷ and Mavragani et al³³ report lower root damage in apices with incomplete root formation. However, Hendrix et al²⁹ found out that teeth with open apices which do not achieve the average standard length usually have longer roots compared to teeth with closed apices, probably due to apex displacement during treatment. Hamilton & Gutmann³⁸ reported that premature apical closure occurs when applying orthodontic forces on immature apices. In consequence, the main variable evaluated in their systematic review was the changes occurring when tooth movements were applied on apices that had not completed root formation.

Concerning changes in root length before and after treatment, the study by Kim & Park³² found statistically significant differences between both groups, reporting increased root length that is complete by 70%, while in the control group the root reabsorbed by 60%. Their study concludes that the resorption degree was low because participants were treated without extractions and therefore both displacement distance and duration were short.

En cuanto a la proporción corono-radicular, Kim y Park³² no reportan diferencias significativas antes del tratamiento entre las raíces con ápices inmaduros y las que habían completado su desarrollo. Sin embargo, sí hay diferencias significativas entre los dos grupos en el periodo posterior al tratamiento, debido a que las raíces inmaduras tienden a desarrollarse, mientras que las raíces con ápices maduros se reabsorben y se acortan.

Kim y Park³² encuentran diferencias significativas en cuanto a la forma de la raíz después del tratamiento de ortodoncia en ambos grupos, utilizando el sistema de medición descrito por Levander y Malmgren,³⁹ lo cual se puede explicar porque la forma final de los ápices inmaduros fue similar a la forma de los ápices maduros.

De igual manera, el cambio en la forma de la raíz se asoció a la duración del tratamiento: a mayor duración, permitió la completa formación de la raíz, seguida por reabsorción y acortamiento. En conclusión, a pesar de que la posibilidad de reabsorción en ápices inmaduros es reducida, y si la duración del tratamiento es más larga, no se deben esperar diferencias con los ápices maduros.

En cuanto al cambio de longitud y forma de la raíz, Kim y Park³² concluyen que, si el tratamiento de ortodoncia se comienza antes de la formación completa de la raíz, será conveniente para la reducción de la reabsorción radicular. Sin embargo, dicho estudio se basa en cambios observados en radiografías de ápices inmaduros, excluyendo otros factores como los aspectos histológicos, la historia de trauma o los hábitos.

Por otra parte, Da Silva y colaboradores³¹ reportan que el riesgo de reabsorción, o cualquier alteración en raíces en formación durante el movimiento inducido en incisivos permanentes con ápices abiertos, es prácticamente nulo. De igual forma, Rudolph³⁵ concuerda con que el tratamiento de ortodoncia es menos perjudicial en raíces en formación, es decir, cuando se inicia tempranamente. Sin embargo, dicho resultado se debe analizar cuidadosamente, debido a la metodología empleada (el uso de radiografías panorámicas), pues los autores tomaron como referencia la edad cronológica y no el estadio de formación radicular, lo que provee poca información sobre el estadio de formación de las raíces.

Concerning crown-root ratio, Kim & Park³² reported no significant differences before treatment between roots with immature apices and those that had completed their development. However, there were significant post-treatment differences between the two groups, since immature roots tend to grow while roots with mature apices are reabsorbed and shorten.

Kim & Park³² found significant differences in terms of root shape after orthodontic treatment in both groups, using the measuring system described by Levander and Malmgren,³⁹ which can be explained because the final shape of immature apices was similar to the shape of mature apices.

Similarly, the change in root shape was associated with treatment duration: longer treatment periods allowed complete root formation, followed by reabsorption and shortening. In conclusion, while the possibility of reabsorption in immature apices is low, in longer treatments one should not expect differences with mature apices.

Concerning changes in root length and shape, Kim & Park³² concluded that starting orthodontic treatment before full root formation is convenient for reducing root resorption. However, their study is based on changes observed in x-rays of immature apices, excluding other factors such as histological aspects, history of trauma, or habits.

On the other hand, Da Silva et al³¹ reported that the risk of resorption or any other alteration in roots in formation during induced movement in permanent incisors with open apices is practically non-existent. In the same way, Rudolph³⁵ agrees that orthodontic treatment is less damaging in roots in formation, i.e., when it is started early. However, this result should be taken carefully because of the methodology used (panoramic radiographs), since the authors took chronological age as a reference instead of the stage of root formation, thus providing little information on the stage of root formation.

Posteriormente, mediante radiografías periapicales, Linde y colaboradores³⁷ estudiaron la incidencia y extensión de la reabsorción radicular en incisivos superiores, y encontraron que la reabsorción radicular fue dos veces mayor en los ápices que habían completado su formación, en comparación con los ápices inmaduros.

Da Silva y colaboradores³¹ concluyen que, desde una perspectiva radiográfica, no se evidencia iatrogenia en la integridad radicular durante el movimiento de ortodoncia en incisivos centrales permanentes con formación incompleta.

Mavragani y colaboradores³³ coinciden con lo antes expuesto, dado que en su estudio encuentran que los dientes con formación radicular parcial antes del tratamiento alcanzan mayor longitud radicular que los dientes con raíces completamente formadas al inicio del tratamiento. Por lo tanto, concluyen que el tratamiento de ortodoncia no causa reabsorción radicular en dientes con ápices inmaduros.

Con base en los resultados obtenidos, se debe tener en cuenta que la mayoría de los estudios de ortodoncia fueron escasos y presentaron fallas metodológicas. Sin embargo, los hallazgos de la presente revisión coinciden con los de varios autores,^{30, 36, 32} quienes sugieren que el tratamiento de ortodoncia en dientes con formación radicular incompleta no representa un riesgo biológico para su desarrollo.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados del presente estudio, se pueden sacar las siguientes conclusiones:

1. La longitud radicular final de los incisivos que no han terminado su cierre apical, y que son movidos con ortodoncia fija, no se altera.
2. La técnica utilizada parece no ser relevante en la longitud radicular final.
3. Estos resultados hay que tomarlos con mucha cautela porque la evidencia resultante fue baja y media.

Subsequently, by means of periapical radiographs, Linde et al³⁷ studied the incidence and extent of root resorption in maxillary incisors, finding out that root resorption was two times higher in apices which had completed their formation, compared with immature apices.

Da Silva et al³¹ concluded that, from a radiographic perspective, there is no evidence of iatrogenesis in root integrity during orthodontic movement in permanent central incisors with incomplete formation.

Mavragani et al³³ agree, as in their study they found out that teeth with partial root formation prior to treatment reach longer root length than teeth with fully formed roots when treatment starts. Therefore, they conclude that orthodontic treatment does not cause root resorption in teeth with immature apices.

Based on the obtained results, we must bear in mind that most orthodontic studies were scarce and had methodological weaknesses. However, the findings of the present review agree with those of several authors,^{30, 36, 32} who suggest that orthodontic treatment in teeth with incomplete root formation does not represent a biological risk for its development.

CONCLUSIONS

Based on the results of the present study, the following conclusions can be drawn:

1. There are no alterations in the final root length of incisors that have not completed apical closure and which are moved with fixed orthodontics.
2. The technique used does not seem to be relevant in final root length.
3. These results should be taken cautiously because the resultant evidence was low to moderate.

4. Se necesitan ensayos clínicos aleatorizados a largo plazo, que nos muestren las alteraciones a nivel radicular en dientes que fueron intervenidos con fuerzas tempranamente.

CONFLICTO DE INTERESES

Esta revisión sistemática no presenta conflictos de interés, no fue patrocinada por ninguna casa comercial ni por la Universidad El Bosque.

No se registró ningún protocolo en las bases de datos para revisiones sistemáticas.

CORRESPONDENCIA

Isaac Wasserman
wassermanisaac@unbosque.edu.co
Universidad El Bosque
Bogotá, Colombia

4. Long-term randomized clinical trials are needed in order to show root alterations in teeth that have received early treatment with forces.

CONFLICT OF INTEREST

This systematic review does not have any conflicts of interest; it was not sponsored by any company or by Universidad El Bosque.

No protocol for systematic reviews was found in the databases.

CORRESPONDING AUTHOR

Isaac Wasserman
wassermanisaac@unbosque.edu.co
Universidad El Bosque
Bogotá, Colombia

REFERENCIAS / REFERENCES

1. Tafur AM, Tuesta O, Raymundo J. Biología del movimiento ortodóncico. *Rev Estomatol Hered* 2001; 11(1-2): 46-51.
2. Masella RS, Meister M. Current concepts in the biology of orthodontic tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006; 129(4): 458-468.
3. Schwarz AM. Tissue changes incident to orthodontic tooth movement. *Int J Orthod* 1932; (18): 331-352.
4. Melsen B. Biological reaction of alveolar bone to orthodontic tooth movement. *Angle Orthod* 1999; 69 (2): 151-158.
5. Dolce C, Scott MJ, Wheeler TT. Current concepts in the biology of orthodontic tooth movement. *Semin Orthod* 2002; 8 (1): 6-12.
6. Zainal S, Yamamoto Z, Zainol I, Abdul R, Zainal Z. Cellular and molecular changes in orthodontic tooth movement. *ScientificWorld Journal* 2011; (11): 1788-1803.
7. Melsen B. Tissue reaction to orthodontic tooth movement: a new paradigm. *Eur J Orthod* 2001; 23(6): 671-681.
8. Von-Böhl M, Kuijpers-Jagtman AM. Hyalinization during orthodontic tooth movement: a systematic review on tissue reactions. *Eur J Orthod* 2009; 31(1): 30-36.
9. Quintero P, Yepes E, Rendón J. Pulp tissue reactions to specific orthodontic movements: a literature review. *Angle Orthod* 2011; 7(13): 54-60.
10. Ren Y, Maltha JC, Kuijpers-Jagtman AM. Optimum force magnitude for orthodontic tooth movement: a systematic literature review. *Angle Orthod* 2003; 73(1): 86-92.
11. Brin I, Tulloch JF, Koroluk L, Philips C. External apical root resorption in Class II malocclusion: a retrospective review of 1-versus 2-phase treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003; 124(2): 151-156.
12. Blake M, Woodside DG, Pharoah MJ. A radiographic comparison of apical root resorption after orthodontic

- treatment with the edgewise and Speed appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995; 108(1): 76-84.
13. Acar A, Canyürek U, Kocaaga M, Erverdi N. Continuous vs. discontinuous force application and root resorption. *Angle Orthod* 1999; 69(2): 163-164.
 14. Lopatiene K, Dumbravait A. Risk factors of root resorption after orthodontic treatment. *Stomatologija* 2008; 10(3): 89-95.
 15. Costopoulos G, Nanda R. An evaluation of root resorption incident to orthodontic intrusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1996; 109(5): 543-548.
 16. Sameshima GT, Sinclair PM. Predicting and preventing root resorption: Part I. Diagnostic factors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001; 119(5): 505-510.
 17. Mirabella AD, Årtun J. Risk factors for apical root resorption of maxillary anterior teeth in adult orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995; 108(1): 48-55.
 18. Harris EF, Kineret SE, Tolley EA. A heritable component for external apical root resorption in patients treated orthodontically. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1997; 111(3): 301-309.
 19. Lee RY, Årtun J, Alonzo TA. Are dental anomalies risk factors for apical root resorption in orthodontic patients?. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999; 116(2): 187-195.
 20. Mavragani M, Apisariyakul J, Brudvik P, Selvig KA. Is mild dental invagination a risk factor for apical root resorption in orthodontic patients?. *Eur J Orthod* 2006; 28(4): 307-312.
 21. Janson GR, De-Luca-Canto G, Martins DR, Henriques JF, De Freitas MR. A radiographic comparison of apical root resorption after orthodontic treatment with 3 different fixed appliance techniques. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2000; 118(3): 262-273.
 22. Costopoulos G, Nanda R. An evaluation of root resorption incident to orthodontic intrusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1996; 109(5): 543-548.
 23. Han G, Huang S, Von den Hoff JW, Zeng X, Kuijpers-Jagtman AM. Root resorption after orthodontic intrusion and extrusion: an intra-individual study. *Angle Orthod* 2005; 75(6): 912-918.
 24. Weiland F. Constant versus dissipating forces in orthodontics: the effect on initial tooth movement and root resorption. *Eur J Orthod* 2003; 25(4): 335-342.
 25. Sameshima GT, Sinclair PM. Predicting and preventing root resorption: part II. Treatment factors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001; 119(5): 511-515.
 26. Oppenheim A. Human tissue response to orthodontic intervention of short and long duration. *Am J Orthod* 1942; 28(5): 263-301.
 27. Phillips, J. Apical Root Resorption Under Orthodontic Therapy. *Angle Orthod* 1955; 25(1): 1-22.
 28. Consolaro A, Ortiz M, Velloso, T, Dentes com rizogênese incompleta e movimento ortodôntico: bases biológicas. *R Dental Press Ortodon Ortop Facial* 2001; 6(2): 25-30.
 29. Hendrix I, Carels C, Kuijpers-Jagtman AM, Van't-Hof M. A radiographic study of posterior apical root resorption in orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1994; 105(4): 345-349.
 30. Lagravere M, Majorb P, Flores C. Long-term skeletal changes with rapid maxillary expansion: a systematic review. *Angle Orthod* 2005; 75(6): 1046-1052.
 31. Da Silva Filho O, Mendez Ode F, Ozawa TO, Ferrari Junior FM, Correa TM. Behavior of partially formed roots of teeth submitted to orthodontic movement. *J Clin Pediatr Dent* 2005; 28 (2): 147-154
 32. Kim H, Park S. The changes of root length and form in immature teeth after orthodontic treatment. *Korean J Orthod* 2004; 3 (3): 241-251.
 33. Mavragani M, Egil O, Wisht B, Selvig K. Changes in root length during orthodontic treatment: advantages for immature teeth. *Eur J Orthod* 2002; 24(1): 91-97.
 34. Amlani MS, Inocencio F, Hatibovic-Kofman S. Lateral incisor root resorption and active orthodontic treatment in the early mixed dentition. *Eur J Paediatr Dent* 2007; 8(4): 188-192.
 35. Rudolph CE. An evaluation of root resorption occurring during orthodontic treatment. *J Dent Res* 1940; 19(4): 367-371.
 36. Reitan K. Initial tissue behavior during apical root resorption. *Angle Orthod* 1974; 44(1): 68-82.
 37. Linge B. Ohm, Linge L. Apical root resorption in upper anterior teeth. *Eur J Orthod* 1983; 5(3): 173-183.
 38. Hamilton RS, Gutmann JL. Endodontic-orthodontic relationships: a review of integrated treatment planning challenges. *Int Endod J* 1999; 32(5): 343-360.

39. 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.
40. Rosenberg M. An evaluation of the incidence and amount of apical root resorption and dilaceration occurring in orthodontically treated teeth having incompletely formed roots at the beginning of Begg treatment. *Am J Orthod* 1972; 61(5): 524-525.
41. Stenvik A, Ivar A. The effect of experimental tooth intrusion on pulp and dentine. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1971; 32(4): 639-648.
42. Neto JJ, Gondim JO, de-Carvalho FM, Giro EM. Longitudinal clinical and radiographic evaluation of severely intruded permanent incisors in a pediatric population. *Dent Traumatol* 2009; 25(5): 510-514.
43. Sunku R, Roopesh R, Kancherla P, Perumalla KK, Yudhistar PV, Reddy VS. Quantitative digital subtraction radiography in the assessment of external apical root resorption induced by orthodontic therapy: A retrospective study. *J Contemp Dent Pract* 2011; 12(6): 422-428.
44. Mendoza A, Solano E, Segura-Egea J. Treatment and orthodontic movement of a root-fractured maxillary central incisor with an immature apex: 10-year follow-up. *Int Endod J* 2010; 43(12): 1162-1170.
45. Rudzki-Janson E, Paschos E, Diedrich P. Orthodontic tooth movement in the mixed dentition: Histological study of a human specimen. *J Orofac Orthop* 2001; 62(3): 177-190.
46. Kim YJ, Chandler NP. Determination of working length for teeth with wide or immature apices: a review. *Int Endod J* 2013; 46(6): 483-491.
47. Fenn KM. The effect of fixed orthodontic treatment on developing maxillary incisor root apices. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1998; 114(5): A1.
48. Owman-Moll P. The effects of a four-fold increased orthodontic force magnitude on tooth movement and root resorptions. An intra-individual study in adolescents. *Eur J Orthod* 1996; 18 (3): 287-294.