



**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO

**FO**  
FACULTAD DE  
ODONTOLOGÍA



FACULTAD DE ODONTOLOGÍA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TRABAJO FINAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE ESPECIALISTA  
EN ENDODONCIA

**“OBTURACIÓN CON BARRERA APICAL y CONO  
PERSONALIZADO”**

ALUMNA: Od. MaríaVictoria Pavezka Truffa.

DIRECTORA: Prof. Dra. Graciela Peña.

Mendoza, Mayo 2024.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a la enorme cantidad de personas que me apoyaron y acompañaron durante el cursado de la Especialidad en Endodoncia y durante la realización de este trabajo.

Mi familia: madre, padre, hermanos, sobrinos; que me apoyaron de múltiples maneras extremadamente valiosas; tíos, primos, abuela, ahijada, que me alojaron con amor en cada viaje a Mendoza.

A mis colegas compañeros de trabajo, Matías y Javier, que me cubrieron cada ausencia y me recibieron en cada vuelta.

A mis amigas y amigos sostenedores: Lucía, Ailén, Pirén, Antonella, Israel, Marcos, Jeremías. A mis compañeras y compañeros de cursado, especialmente a mi lujosa compañera de box Sabrina y a nuestras vecinas Lucila y Sol, todos ellos hicieron del cursado un placer, al igual que nuestros profesores Julio, Albert, Julieta, Mariana, Gimena y Graciela, a los que agradezco mucho su trabajo y esfuerzos, brindándonos amablemente, dedicadamente y generosamente sus conocimientos de calidad.

Agradezco profundamente a mi profesora y directora de tesis Graciela Peña, que ha sabido guiarme en la realización de este trabajo con enorme conocimiento, profesionalismo, esfuerzo, paciencia, cariño y comprensión. Gracias Graciela por tu trato humano y profesional.

También agradezco a la Facultad de Odontología de la UNCuyo, como institución, que sigue siendo para mí un hogar y un respaldo.

Reitero, por último, mi agradecimiento eterno a mis padres Cecilia y Fernando, que una vez más me apoyaron y me apoyarán con todo su ser en cada detalle.

## ÍNDICE

Resumen.....	Pág. 4
Introducción y Objetivo.....	Pág. 5
Caso Clínico.....	Pág. 34
Discusión.....	Pág. 39
Conclusiones.....	Pág. 47
Bibliografía.....	Pág. 48

## **RESUMEN**

Hasta que un diente erupcionado no ha terminado su desarrollo se le denomina diente con rizogénesis incompleta, inmaduro o con el ápice abierto. El tratamiento endodóntico de dientes necróticos inmaduros con formación radicular incompleta es extremadamente desafiante.

Está claro que el tratamiento endodóntico exitoso requiere un sellado adecuado en toda la longitud del conducto radicular, que incluye el sellado coronal, lateral y apical. Por eso es importante la obturación del espacio restante del conducto radicular por encima del tapón apical.

En este trabajo se describe el tratamiento realizado en un elemento 21 con necrosis pulpar, sin stop apical y conducto amplia, realizando una obturación con barrera apical de biocerámico y cono personalizado

Por lo tanto el objetivo de este trabajo es describir un caso clínico en donde se realizó la obturación del conducto radicular con barrera apical de biocerámico y cono personalizado

Las estrategias de manejo para el tratamiento estos elementos están cambiando desde los procedimientos de apexificación con hidróxido de calcio o la técnica de barrera apical hacia procedimientos de endodoncia regenerativa.

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo radicular comienza cuando la formación de esmalte y dentina ha alcanzado la futura unión cemento-esmalte. En esta etapa, el epitelio interno y externo del esmalte ya no está separado por el estrato intermedio y el retículo estrellado, sino que se desarrollan como una pared epitelial de dos capas para formar la vaina epitelial de la raíz de Hertwig. Cuando se ha inducido la diferenciación de las células radiculares en odontoblastos y se ha depositado la primera capa de dentina, La vaina epitelial de la raíz de Hertwig comienza a desintegrarse y perder su continuidad y estrecha relación con la superficie de la raíz. Sus restos persisten como una red epitelial de hebras o túbulos cerca de la superficie externa de la raíz (Bhasker, 1991). La vaina epitelial de la raíz de Hertwig es responsable de determinar la forma de la raíz o raíces. El diafragma epitelial rodea la abertura apical de la pulpa y eventualmente se convierte en el agujero apical. Se encuentra un ápice abierto en las raíces en desarrollo de dientes inmaduros hasta que se produce el cierre apical aproximadamente 3 años después de la erupción (Bhasker, 1991).

Nolla estableció, mediante radiografías, una serie de estadios (de 0 a 10) en el desarrollo de los dientes. Cuando un diente erupciona, presenta una raíz con un desarrollo de unos dos tercios de su longitud (estadio 8). Al cabo de un año se desarrolla hasta alcanzar su longitud total (estadio 9). Harán falta aún unos 3-4 años para considerar que su ápice está maduro, es decir, que se ha formado una constricción apical en la proximidad de la unión de la dentina con el cemento (estadio 10), existiendo pequeñas modificaciones cronológicas en los diferentes grupos dentarios y en cada individuo. Al mismo tiempo que se desarrolla en longitud, las paredes del diente se van engrosando por aposición de dentina y la zona apical se va estrechando formándose una constricción o estrechamiento cerca del foramen apical.

Hasta que un diente erupcionado no ha terminado su desarrollo se le denomina diente con rizogénesis incompleta, inmaduro o con el ápice abierto. (Sahali, 2014)

No hay consenso en la literatura sobre el diámetro mínimo del extremo apical de la raíz para clasificarlo como ápice abierto y varios autores recomiendan el uso de una lima de tamaño ISO #40 - #100 para medir el ápice (Kim; Chandler, 2013). La

Asociación Americana de Endodoncia (AAE) clasificó los dientes con diámetro apical mayor a 1,5 mm como casos con alto nivel de dificultad basado en el índice de evaluación de la dificultad del caso, y su manejo requiere habilidades endodónticas especializadas (American Association of Endodontics, 2020).

Cuando la pulpa sufre cambios patológicos antes del desarrollo completo de la raíz, cesan la formación de dentina y el crecimiento de la raíz. El estado pulpar y el grado de desarrollo radicular son los factores principales en la planificación del tratamiento de dientes con patología pulpar (Holland *et al.*, 2009).

El primer objetivo es permitir el desarrollo radicular manteniendo, si es posible, la vitalidad de la pulpa, de modo permanente o temporal, para que la raíz complete su formación, formándose la constricción apical y aumentando de grosor sus paredes (Sahali, 2014). Si el diagnóstico pulpar es pulpitis reversible, el tratamiento de elección es la terapia pulpar vital que incluye recubrimiento pulpar y pulpotomía (Iqbal; Kim, 2007). Si por el contrario se diagnostica una patología irreversible, dependiendo de la vitalidad de la pulpa afectada, son posibles dos enfoques terapéuticos: apexogénesis o apexificación. La apexogénesis es "un procedimiento de terapia pulpar vital que se realiza para estimular el desarrollo fisiológico continuo y la formación del extremo de la raíz" (American Association of Endodontists, 2003). La apexificación se define como "un método para inducir una barrera calcificada en una raíz con un ápice abierto o el desarrollo apical continuo de una raíz incompleta en dientes con pulpa necrótica" (American Association of Endodontists, 2003)

La necesidad de ejecución de procedimientos distintos para los dientes con pulpa viva y con pulpa mortificada exige un diagnóstico preciso de su estado.

Algunos síntomas, como las características del dolor (sordo o agudo; localizado o difuso; fugaz o persistente; continuo o intermitente), unidos a un examen clínico cuidadoso (inspección, palpación y percusión) ayudan en este diagnóstico.

Pueden usarse las pruebas térmicas, y la prueba eléctrica, pero sus resultados tienen que interpretarse con cautela. Si el ápice es inmaduro, la capa parietal de nervios (plexo de Raschkow) no está desarrollada por completo y la pulpa, aún poco inervada, no responderá a estos estímulos en la forma habitual.

El examen radiográfico debe ser muy cuidadoso. No es raro confundir la imagen del saco dentario, que es una estructura embrionaria que origina los tejidos periodontales y que circunda el ápice de los dientes en formación, con una lesión periapical.

Del mismo modo, es posible confundir un ápice inmaduro con uno reabsorbido. La edad del paciente, las dimensiones de la cavidad pulpar (en los dientes inmaduros siempre son amplias) y la comparación del diente afectado con su homólogo, posibilitarán el diagnóstico diferencial.

Por proporcionar una imagen bidimensional, el examen radiográfico también podrá, en algunos casos, dar la idea de una formación radicular completa, lo cual no siempre es verdad. Esto se produce porque en la radiografía la formación radicular se identifica en primer término y con facilidad en el sentido del menor diámetro (mesiodistal). En el sentido de mayor diámetro (vestibulolingual), la formación necesita más tiempo y no es visible en la radiografía. El conocimiento de que en condiciones normales el diente estará formado por completo 3 o 4 años después de erupcionar, es un auxiliar importante (Goldberg, 2002)

Klein, (1978) señaló que las pruebas de vitalidad en dientes inmaduros son inherentemente poco confiables ya que estos dientes proporcionan respuestas impredecibles a las pruebas pulpares. Antes de que se complete la formación de la raíz, el plexo sensorial de los nervios en la región subodontoblástica no está bien desarrollado y como la lesión en sí misma puede conducir a respuestas erráticas.

La interpretación radiográfica puede resultar difícil. Normalmente, un área radiolúcida rodea el ápice abierto en desarrollo de un diente inmaduro con una pulpa sana. Es difícil diferenciar entre este hallazgo y una radiolucidez patológica resultante de una pulpa necrótica. Puede resultar útil la comparación con el periápice del diente contralateral (Rafter, 2005).

Las técnicas de imagen tridimensionales ofrecen nuevas oportunidades para entender la complejidad de los extremos radiculares que pueden tener una conformación diferente en las dimensiones mesiodistal y vestibulolingual (Cohen; Hargreaves, 2011)

Este trabajo se enfocará en los casos de elementos que no han terminado su formación radicular y son diagnosticados con necrosis pulpar. Con el objetivo de

describir las peculiaridades a tener en cuenta para el abordaje endodóntico óptimo de los elementos dentarios con conducto y ápice amplios

Hay varias causas de la necrosis pulpar de los dientes permanentes inmaduros, incluidos traumatismos, caries dental y anomalías dentales: dens invaginatus y dens evaginatus (Chen *et al.*, 2013).

El trauma puede cortar total o parcialmente el suministro de sangre apical del diente traumatizado mediante el desplazamiento o aplastamiento de los vasos sanguíneos circundantes. Si el suministro de sangre apical no puede restablecerse o es inadecuado, se producirá necrosis pulpar. El trauma entre los 8 años y los 10 años es importante ya que el desarrollo radicular de los dientes permanentes suele ser incompleto y la necrosis pulpar impide el desarrollo continuo de la raíz (Rafter, 2005; Chen *et al.*, 2013 ).

Lamentablemente, las lesiones traumáticas en los dientes permanentes jóvenes no son infrecuentes y se dice que afectan al 30% de los niños (Andreasen; Andreasen, 1994). La mayoría de estos incidentes ocurren antes de que se complete la formación de la raíz (Andreasen; Ravn, 1972) y pueden resultar en inflamación pulpar o necrosis. La vaina radicular de Hertwig suele ser sensible al traumatismo, pero debido al grado de vascularización y celularidad en la región apical, la formación de raíces puede continuar incluso en presencia de inflamación pulpar y necrosis (Andreasen; Hjorting-Hansen, 1967; Pindborg, 1956).

La mayoría de los incidentes traumáticos en los niños involucran incisivos maxilares permanentes inmaduros (Andreasen; Kahler, 2015)

Borum *et al.* encontraron que la probabilidad de necrosis pulpar varía con el tipo de traumatismo dental de la siguiente manera: infracción del esmalte (0%), conmoción cerebral (3%), extrusión (26%), luxación lateral (58%), avulsión (92%), intrusión (94%) (Borum; Andreasen, 2001)

La caries es una enfermedad multifactorial que involucra bacterias y sus subproductos, que pueden penetrar la pulpa causando inflamación y fibrosis del tejido pulpar. Si no se eliminan las bacterias, se puede desarrollar una inflamación crónica y parte del tejido pulpar morirá. La inflamación prolongada o las lesiones repetidas reducen la capacidad de la pulpa para repararse a sí misma y, finalmente, la necrosis se extenderá a todo el canal (Abbott; Yu, 2007).



Otras causas incluyen las anomalías dentales dens evaginatus y dens invaginatus (Hargreaves *et al.*, 2013; Cameron *et al.*, 2008). En los casos de dens invaginatus, a menudo sólo una fina capa de estructura de tejido duro protege la pulpa, y la necrosis puede ocurrir poco después de la erupción del diente, a menudo como resultado de caries (Cameron *et al.*, 2008). El dens evaginatus se presenta con una proyección de tejido duro (tubérculo cubierto de esmalte) desde la superficie oclusal o cingulo del diente afectado. En el 43% de los casos hay tejido pulpar que se extiende hacia el tubérculo. Si el tubérculo se fractura, lo que puede ocurrir debido a un traumatismo oclusal, es probable que la pulpa quede expuesta (Cameron *et al.*, 2008).

Los procedimientos restaurativos también pueden afectar el tejido pulpar (Braden, 1964). La lesión térmica puede ocurrir como resultado de procedimientos de preparación o acabado dental que utilizan corte en seco, fresas sin filo, curetaje periodontal profundo, movimiento ortodóncico, calor generado por la contracción por polimerización de materiales compuestos de resina o láseres y dispositivos de abrasión por aire (Langeland 1981; Spierings *et al.*, 1987). Los irritantes químicos de la pulpa incluyen limpiadores de cavidades como alcohol, cloroformo, peróxido de hidrógeno, sustancias esterilizantes y desensibilizantes, así como algunas de las sustancias presentes en diversos materiales de restauración y revestimientos de cavidades (Spångberg *et al.*, 1973; Caviedes *et al.*, 2008).

El tratamiento endodóntico de dientes necróticos inmaduros con formación radicular incompleta es extremadamente desafiante. (Xie *et al.*, 2021)

En los dientes con rizogénesis incompleta, la raíz no está formada. El conducto tiene forma troncocónica, con la base vuelta hacia apical, es exageradamente amplio y el foramen, todavía no formado, tiene un diámetro muy grande. En estos casos, la forma del conducto y sus dimensiones dificultan mucho los procedimientos endodónticos convencionales. El foramen abierto no proporciona la defensa anatómica, es muy difícil mantener el tratamiento endodóntico dentro de los límites del conducto y, sobre todo, es imposible obturarlo en forma tridimensional (Goldberg, 2002).

La pérdida prematura de una pulpa funcionante produce un diente frágil con afectación de la relación coronoradicular, paredes delgadas de dentina y una raíz

ancha y con frecuencia de divergencia apical que plantea importantes desafíos endodónticos y restauradores (Cohen; Hargreaves, 2011)

Un diámetro apical grande y una relación coronoradicular descoordinada aumentan la dificultad del tratamiento pulpar y la posterior restauración, lo que puede conducir a una baja tasa de retención. (Xie *et al.*, 2021)

Las bacterias penetran a través de más túbulos dentinarios y avanzan más profundamente en los dientes de individuos más jóvenes (Kakoli *et al.*, 2009). Por lo tanto, la eliminación bacteriana en dientes inmaduros infectados es un desafío importante (Xie *et al.*, 2021)

Las paredes dentinarias delgadas y frágiles dificultan la eliminación de bacterias mediante desbridamiento mecánico. En consecuencia, la desinfección de los conductos radiculares infectados depende más del uso de soluciones de irrigación y medicamentos intracanal (Lovelace *et al.*, 2011)

Los resultados ideales del tratamiento de dientes permanentes inmaduros son curar cualquier patología apical, obtener la resolución clínica de los síntomas, promover el desarrollo radicular continuo con cierre apical y restaurar la competencia funcional del tejido pulpar (Hargreaves *et al.*, 2013). Es deseable el desarrollo continuo de la raíz ya que reduce el riesgo de fractura de la raíz y mejora la relación coronaraíz del diente. Es importante intentar retener estos dientes por razones funcionales y estéticas y porque los implantes generalmente están contraindicados hasta que se haya completado el crecimiento craneofacial (Hargreaves *et al.*, 2013). El manejo inoportuno o incorrecto puede provocar la pérdida de dientes permanentes, trastornos del crecimiento mandibular y de la función masticatoria, e incluso del habla, alteraciones y deterioro cosmético facial (Hargreaves *et al.*, 2013; Shabahang, 2013). En el pasado, las técnicas para el manejo del ápice abierto en dientes no vitales se limitaban al ajuste personalizado del material de obturación (Stewart, 1963; Friend, 1966), obturaciones en pasta (Friend, 1967) y cirugía apical (Ingle, 1965). Varios autores (Stewart, 1963; Friend, 1966) han descrito el uso de conos de gutapercha hechos a medida, pero esto no es aconsejable ya que la porción apical de la raíz es frecuentemente más ancha que la porción coronal, lo que imposibilita una condensación adecuada de la gutapercha. Un ensanchamiento suficiente del segmento coronal para que su diámetro sea mayor que el de la porción apical

debilitaría significativamente la raíz y aumentaría el riesgo de fractura. Las desventajas de la intervención quirúrgica incluyen la dificultad de obtener el sellado apical necesario en el diente joven sin pulpa con sus paredes delgadas, frágiles e irregulares en el ápice de la raíz. Estas paredes pueden romperse durante la preparación de la retrocavidad o la condensación del material de relleno. El agujero ancho da como resultado un gran volumen de material de obturación y un sellado comprometido. La apicectomía reduce aún más la longitud de la raíz, lo que da como resultado una relación corona-raíz muy desfavorable (Rafter, 2005).

Actualmente existen tres opciones de tratamiento principales para los dientes permanentes con sistemas de conductos radiculares infectados y ápices abiertos. Estos incluyen apexificación con hidróxido de calcio, formación de barrera apical con agregado de trióxido mineral (MTA) y procedimientos de endodoncia regenerativos (Flanegan, 2014).

La apexificación es un método que promueve la formación de una barrera apical calcificada y permite la colocación y compactación del material de obturación del conducto radicular (Huang, 2009). El procedimiento implica el desbridamiento quimiomecánico del canal hasta un punto justo antes del ápice, seguido de la colocación de un material biocompatible para inducir una barrera de tejido duro y facilitar el relleno radicular (Aggarwal *et al.*, 2012, Jyothi, 2012).

Se han descrito muchos materiales que estimulan la apexificación con éxito. El uso de  $\text{Ca(OH)}_2$  sin fraguar fue descrito por primera vez por Kaiser en 1964. La técnica se popularizó con el trabajo de Frank y, desde entonces, el  $\text{Ca(OH)}_2$  solo o combinado con otros fármacos pasó a ser el material más aceptado para favorecer la apexificación hasta el desarrollo del MTA y el potencial de formación de barrera rápida y artificial (Cohen; Hargreaves, 2011).

El hidróxido de calcio fue el material original utilizado en la apexificación debido a su acción antibacteriana para erradicar la infección intrarradicular y su capacidad para inducir la formación de una barrera de tejido duro apical (Jyothi, 2012, Thomson; Kahler, 2010). Ha sido reportado como el material de elección debido a su desempeño biológico favorable, acción antibacteriana y bajo costo (Rafter, 2005). La barrera de tejido duro apical producida por el hidróxido de calcio se describe como una capa, puente o cuña encarnada formada por necrosis multicapa con

mineralización posterior. A menudo es poroso, no continuo y está formado por cemento, dentina, hueso u "osteodentina" (Rafter, 2005; Aggarwal *et al.*, 2012; Jyothi, 2012). En dientes inmaduros infectados donde la vaina epitelial de la raíz de Hertwig puede haber sido destruida, se ha postulado que los cementoblastos viables o los fibroblastos indiferenciados en los tejidos periapicales y el ligamento periodontal pueden diferenciarse para producir la barrera de tejido duro apical que se observa en la apexificación (Jyothi, 2012). La apexificación convencional con hidróxido de calcio se ha estudiado ampliamente y parece ser una opción de tratamiento eficaz y confiable (Aggarwal *et al.*, 2012; Shin *et al.*, 2009). Una revisión de 10 estudios informó éxito en 74-100% de los casos utilizando apexificación con hidróxido de calcio (Rafter, 2005)

Después del desbridamiento completo, el conducto se seca y medica con una pasta líquida de  $\text{Ca(OH)}_2$ , transportada en el conducto con un léntulo o inyectada con una jeringa de pasta patentada (Cohen; Hargreaves, 2011). El polvo de hidróxido de calcio puro se puede mezclar con solución salina estéril (o solución anestésica) hasta obtener una consistencia espesa. También son aceptables las preparaciones comerciales premezcladas de hidróxido de calcio (Trope, 2010). No hay pruebas suficientes para recomendar una pasta comercial de  $\text{Ca(OH)}_2$  u otra en esta aplicación (Cohen; Hargreaves, 2011). Se coloca un relleno temporal que selle bien en la cavidad de acceso. Se toma una radiografía y el canal debe aparecer radiopaco, lo que indica que todo el canal se ha llenado con hidróxido de calcio (Trope, 2010). Debido a que el lavado del hidróxido de calcio se evalúa por su radiopacidad relativa en el conducto, es prudente utilizar una mezcla de hidróxido de calcio sin la adición de un material radiopaco como el sulfato de bario. Estos aditivos no se eliminan tan fácilmente como el hidróxido de calcio, por lo que si están presentes en el conducto, no es posible evaluar el lavado. A intervalos de 3 meses, se expone una radiografía para evaluar si se ha formado una barrera de tejido duro y si el hidróxido de calcio se ha eliminado del canal. Se determina que esto ha ocurrido si el canal puede verse nuevamente radiográficamente. Si el lavado con hidróxido de calcio es visto, se reemplaza como antes. Si no se observa ningún lavado, se puede dejar intacto durante otros 3 meses (Trope, 2010). En la medida de lo posible, se deben evitar los cambios de apósitos de hidróxido de calcio porque se cree que la toxicidad inicial del

material retrasa la curación (Lengheden *et al.*, 1991). Si se elimina la pasta de Ca(OH)<sub>2</sub> se puede inspeccionar clínicamente (con la ayuda de gutapercha o una punta de papel o por inspección visual por microscopio) y radiológicamente para ver la formación de una barrera calcificada (Cohen; Hargreaves, 2011). Se puede utilizar una lima de un tamaño que pueda alcanzar fácilmente el ápice para sondear suavemente hasta encontrar un tope en el ápice. Cuando radiológicamente aparece una barrera de tejido duro y se puede palpar con un instrumento, el conducto está listo para el llenado. Esta barrera de tejido duro se formará en el sitio de curación del tejido de granulación periodontal. Este sitio no siempre se ajusta al ápice radiográfico del diente. Por lo tanto, cuando ese tejido duro se palpa con una punta o una lima, es posible que esté por debajo del ápice radiográfico del diente. Es importante no forzar la lima hacia el ápice radiográfico, destruyendo así la barrera apical (Trope, 2010).

La apexificación con hidróxido de calcio tiene varias desventajas. En primer lugar, las paredes del canal del diente inmaduro permanecen delgadas y cortas como tejido duro la formación de barrera sólo ocurre apicalmente, sin elongación ni maduración de la raíz (Aggarwal *et al.*, 2012; Chen *et al.*, 2012; Shin *et al.*, 2009; Nosrat *et al.*, 2012). No hay más desarrollo de la raíz y la longitud y el ancho de la misma permanecerán prácticamente sin cambios al finalizar el tratamiento (Shin *et al.*, 2009). Se plantea la hipótesis de que el alto pH del hidróxido de calcio destruye potencialmente cualquier célula con potencial regenerativo que podría permitir una mayor maduración de las raíces o la regeneración de la pulpa (Aggarwal *et al.*, 2012). La ausencia de desarrollo radicular continuo aumenta el riesgo a largo plazo de fractura radicular y la relación coronaraíz sigue siendo desfavorable, lo que puede tener secuelas protésicas y periodontales futuras (American Academy of Pediatric Dentistry, 2011; Hargreaves *et al.*, 2013; McTigue *et al.*, 2013).

El tratamiento suele durar entre 9 y 24 meses, con las exigencias de cumplimiento evidentes para el paciente y los padres, y con el riesgo de debilitamiento del diente y de fractura radicular cervical después de la medicación a largo plazo con Ca(OH)<sub>2</sub> (Cohen; Hargreaves, 2011)

Varios estudios han sugerido que el uso de Ca(OH)<sub>2</sub> para el tratamiento de endodoncia podría provocar un debilitamiento de la dentina (Rosenberg *et al.*, 2007; White *et al.*, 2002; Andreasen *et al.*, 2006). La dentina es un tejido conectivo

mineralizado y el 22% de su contenido son materiales orgánicos. Esta matriz orgánica contiene grupos fosfato y carboxilato que funcionan como un agente de unión entre la hidroxiapatita y fibras de colágeno. El uso de una sustancia química alcalina como el hidróxido de calcio como medicamento intracanal puede disolver, desnaturalizar o neutralizar estos componentes orgánicos ácidos en el tejido dentinario, que actúan como agentes adhesivos entre cristales de hidroxiapatita y fibrillas de colágeno, lo que resulta en el debilitamiento de la dentina (Rosenberg *et al.*, 2007) y haciendo que el diente sea más susceptible a las fracturas (Andreasen *et al.*, 2002)

Los apósitos de hidróxido de calcio a largo plazo hacen que la dentina radicular se vuelva quebradiza debido a su acción higroscópica y proteolítica, aumentando también el riesgo de fractura radicular (Chen *et al.*, 2013; Aggarwal *et al.*, 2012; Jyothi, 2012; McTigue *et al.*, 2013; Hargreaves *et al.*, 2008)

Andreasen *et al.* (2002) demostraron una reducción de hasta el 50% en la resistencia a la fractura de raíces maduras sometidas a una aplicación de hidróxido de calcio intracanal durante 1 año (Cehreli *et al.*, 2011; Aggarwal *et al.*, 2012). En otro estudio, Cvek encontró que la frecuencia de fractura radicular estaba relacionada con la etapa de desarrollo, oscilando entre el 77% (dientes menos desarrollados) y el 28% en los dientes más desarrollados (Camp, 2008).

También, la apexificación con hidróxido de calcio requiere cambios frecuentes de medicamento y un largo período de tratamiento. La duración del tratamiento varía dependiendo de factores como la edad del paciente, la presencia de radiolucidez perirradicular y el ancho apical (más corto para un ancho apical inicial más estrecho, más largo para una apertura apical amplia) (Andreasen *et al.*, 2002; Rafter, 2005; Huang, 2009; Jyothi, 2012; Shabahang, 2013). Se informa que los tiempos de tratamiento para la formación de la barrera apical varían entre 3 y 24 meses, con un promedio de 12 meses (Thomson; Kahler, 2010; McTigue *et al.*, 2013). El largo tiempo de tratamiento y las múltiples visitas requeridas no sólo reducen el cumplimiento del paciente y dificultan su seguimiento, sino que también aumentan la vulnerabilidad de la restauración coronal y permiten que los canales se reinfecten (Mohammadi, 2011; Jyothi, 2012; Shin *et al.*, 2009; McTigue *et al.*, 2013).

Aunque la técnica de apicoformación con Ca (OH)<sub>2</sub> ha tenido un éxito considerable en la preservación del diente, las muchas desventajas de este tratamiento prolongado han justificado la búsqueda de alternativas (Cohen; Hargreaves, 2011)

El agregado de trióxido mineral (MTA) se ha recomendado como una alternativa eficaz al Ca (OH)<sub>2</sub> para la apexificación, ya que ha demostrado buenas tasas de éxito que van del 77% al 100% (Simon *et al.*, 2007; Holden *et al.*, 2008; Sarris *et al.*, 2008; Witherspoon *et al.*, 2008; Pace *et al.*, 2014). Se ha convertido en el material de elección para esta técnica debido a numerosas ventajas sobre el hidróxido de calcio (Aggarwal *et al.*, 2012). El MTA permite una duración más corta del tratamiento (Simon *et al.*, 2007; Witherspoon *et al.*, 2008), llenado inmediato del canal (Economides *et al.*, 2003; Felipe *et al.*, 2006) y un mejor cumplimiento por parte del paciente (Thomson; Kahler, 2010). Tiene buena capacidad de sellado (Torabinejad *et al.*, 1995; Al-Kahtani *et al.*, 2005), su capacidad para fraguar en ambientes húmedos es ventajosa (Cehreli *et al.*, 2011; Tselnik *et al.*, 2004), tiene capacidad antibacteriana (Eldeniz *et al.*, 2006), biocompatibilidad y bioactividad (Mitchell *et al.*, 1999; Tomson *et al.*, 2007). Su biocompatibilidad además está respaldada por estudios que han demostrado que el MTA extruido no produce una respuesta adversa del huésped ni afecta la curación periapical (Cehreli *et al.*, 2011).

La técnica de apexificación de dientes permanentes inmaduros se ha realizado con MTA en un procedimiento también conocido como técnica de barrera apical o tapón apical MTA (Jyothi, 2012; McTique *et al.*, 2013) Después de secar el conducto con puntas de papel medidas grandes, a veces invertidas, se obtura gradualmente con MTA, aplicado con un transportador específico de MTA o depositado en pequeñas bolitas con una pistola de amalgama. El material luego puede compactarse en el conducto con condensadores medidos y se dejan 1-3 mm por debajo del extremo radicular, a menudo con la ayuda de energía sónica o ultrasónica para depositar el material (Yeung *et al.*, 2006). Se considera óptimo un tapón apical de 4-5 mm de grosor. La idoneidad del tapón apical se comprueba radiológicamente (Cohen; Hargreaves, 2011).

Está claro que el tratamiento endodóntico exitoso requiere un sellado adecuado en toda la longitud del conducto radicular, que incluye el sellado coronal, lateral y

apical. Por eso es importante la obturación del espacio restante del conducto radicular por encima del tapón apical (Tabrizzade *et al.*, 2014).

En la apexificación en un solo paso, después de la colocación del tapón apical, existen diferentes métodos para llenar el espacio restante del conducto. La compactación lateral, como método de obturación más utilizado, puede ser la primera opción. Sin embargo, con este método puede resultar difícil lograr una obturación densa y homogénea en un espacio amplio del conducto de un diente con ápice abierto. Además, las fuerzas aplicadas por el espaciador pueden provocar la fractura de la raíz de los dientes inmaduros (Giovarruscio *et al.*, 2013; Kumar *et al.*, 2011). Además, usar más sellador para llenar los huecos aumenta el riesgo de que el sellador se disuelva posteriormente (Vizgirda *et al.*, 2004).

La gutapercha termoplastificada es otra opción para llenar el espacio restante del conducto que da como resultado un llenado más homogéneo del espacio amplio del conducto sin extrusión de los materiales de obturación en presencia de un tapón apical. Sin embargo, requiere equipos específicos que pueden no estar disponibles en todos los centros dentales.

La obturación de todo el conducto radicular con material de tapón apical es otra opción para la obturación de los dientes de ápice abierto (Annamalai; Mungara, 2010). El MTA como material bioactivo confiable tiene aplicaciones ampliadas en endodoncia, que incluyen la obturación del espacio del conducto radicular. Los informes de casos clínicos han documentado los resultados clínicos después de la aplicación de MTA como material de obturación en diferentes circunstancias y han demostrado su eficacia para resolver la periodontitis apical (Bogen; Kuttler, 2009; Asgary *et al.*, 2013).

Los estudios clínicos han demostrado buenas tasas de éxito para la técnica de barrera apical MTA para producir apexificación de la raíz y curación periapical. En varias investigaciones se han informado altas tasas de éxito del MTA como tapón apical en dientes con pulpas necróticas, ápices abiertos y lesiones apicales después de diferentes períodos de seguimiento (Mente *et al.*, 2009, 2013; Annamalai; Mungara, 2010; Moore *et al.*, 2011; Pace *et al.*, 2014; Bonte *et al.*, 2015; Bücher *et al.*, 2016). Por ejemplo, Pace *et al.* (2014) informaron una tasa de éxito del 94% para MTA después de 10 años. ProRoot MTA del color del diente, MTA Angelus blanco y



Bioaggregate tuvieron resultados similares cuando se usaron como tapón apical en dientes con pulpas necróticas y ápices abiertos (Moore *et al.*, 2011; Tuloglu; Bayrak, 2016).

Mendoza *et al.* demostraron una tasa de fracaso del 7,1% para dientes permanentes inmaduros tratados con apexificación con MTA durante un período de 2 años (Abbott; Yu, 2007; Nygaard-Östby, 1961; Mendoza *et al.*, 2010). La técnica de barrera apical con MTA ha demostrado una mejor tasa de curación apical, una mayor tasa de supervivencia y un riesgo reducido de fractura radicular en comparación con la apexificación con hidróxido de calcio en algunos estudios (Cehreli *et al.*, 2011; Chen *et al.*, 2013; Chen *et al.*, 2012). Algunos estudios también encontraron que el MTA produce una formación de barrera apical mejor y más predecible que el hidróxido de calcio, mientras que otros demuestran resultados similares (Cehreli *et al.*, 2011; Hargreaves *et al.*, 2013; Garcia-Godoy; Murray, 2012; Shabahang, 2013). La formación de una barrera natural de tejido duro apical en la superficie del tapón apical es una cuestión importante porque tiene el potencial de proporcionar un sello biológico.

Dos revisiones sistemáticas y metanálisis concluyeron que el tratamiento de dientes con pulpas necróticas y ápices abiertos utilizando hidróxido de calcio o MTA no fue significativamente diferente en términos de éxito clínico y formación de barrera de tejido duro apical (Chala *et al.*, 2011; Lin *et al.*, 2016); sin embargo, el tiempo necesario para la formación de la barrera apical en dientes tratados con MTA fue significativamente más corto (Lin *et al.*, 2016). ProRoot MTA se asoció con resultados significativamente mejores en comparación con la apexificación con hidróxido de calcio en términos de tiempo medio para la formación de la barrera de tejido duro apical y la formación de la lámina dura en radiografías (Damle *et al.*, 2012), además de consumir menos tiempo clínicamente (Damle *et al.*, 2016; Lin *et al.*, 2016). Se informó un resultado clínico y radiográfico significativamente mejor cuando se utilizó MTA como tapón apical en dientes con pulpas necróticas y dientes con ápices abiertos en comparación con varias otras modalidades de tratamiento (Nicoloso *et al.*, 2017). También hay evidencia de que el MTA redujo las fracturas dentales a largo plazo en comparación con el hidróxido de calcio (Parirokh; Torabinejad, 2010b), como observaron Bonte *et al.* (2015).

Se han reconocido como desventajas del MTA la posible decoloración de los dientes (Parirokh; Torabinejad, 2010b; Hutcheson *et al.*, 2012; Krastl *et al.*, 2013), su tiempo de fraguado prolongado (3 a 4 hs) y difícil manipulación (Chng *et al.*, 2005)

Otra de sus desventajas es la dificultad de eliminar el material durante el retratamiento, ya que no tiene disolvente conocido (Parirokh; Torabinejad, 2010b). Eliminar completamente el MTA del espacio del conducto radicular cuando se utiliza como empaste radicular o como tapón apical es difícil, si no imposible. Varias investigaciones han evaluado la eliminación de los cementos biocerámicos y el efecto de diferentes disolventes sobre la microdureza de los materiales (Nandini *et al.*, 2010; Butt; Talwar, 2013; Neelakantan *et al.*, 2013; Saghiri *et al.*, 2013; Carpenter *et al.*, 2014; Kim *et al.*, 2015; Uzunoglu *et al.*, 2015)

El alto costo del MTA también es un factor limitante en su uso como material de apexificación (Garcia-Godoy; Murray, 2012; Thomson; Kahler, 2010)

Otro biomaterial para este propósito es el cemento de mezcla enriquecida con calcio (CEM), que consta de diferentes compuestos de calcio (Asgary *et al.*, 2008). El cemento CEM tiene buena capacidad de sellado como material de obturación retrógrada (Asgary *et al.*, 2006) y ha mostrado una respuesta pulpar satisfactoria como agente de recubrimiento pulpar directo (Asgary *et al.*, 2008b).

Un factor importante para el éxito del tratamiento endodóncico en dientes con ápice abierto es la capacidad de sellado del tapón apical. Pocos estudios han comparado la capacidad de sellado del cemento MTA y CEM como materiales de obturación del extremo de la raíz o de reparación de perforaciones furcales. El cemento CEM ha demostrado una capacidad de sellado similar, si no superior, en comparación con el MTA (Moradi *et al.*, 2013; Sahebi *et al.*, 2013].

La comparación de las respuestas del tejido subcutáneo al cemento CEM, con ProRoot MTA blanco y gris (Dentsply, Tulsa Dental, Tulsa, OK, EE. UU.) mostró que CEM no induce necrosis tisular y la observación histológica ilustró que ProRoot MTA y el cemento CEM fueron bien tolerados por los tejidos subcutáneos (Parirokh *et al.*, 2011).

Las evaluaciones antimicrobianas han revelado que el cemento CEM es un potente agente antibacteriano como el Ca(OH)<sub>2</sub> y ambos son significativamente superiores al MTA en este sentido (Asgary *et al.*, 2007). En evaluaciones físicas, CEM mostró un

tiempo de fraguado más corto, más fluidez y un espesor de película considerablemente menor que MTA (Asgary *et al.*, 2008c).

En algunos casos se informó el cierre apical y el crecimiento continuo de las raíces (Moore *et al.*, 2011) con la técnica de barrera apical con MTA, pero la mayoría de los estudios revelan que esta técnica no permite un desarrollo radicular continuo ni una mejora en la relación coronaraíz (Cehreli *et al.*, 2011; Nygaard-Östby, 1961). Las raíces cortas y delgadas permanecerán en un diente permanente inmaduro y el MTA no fortalece ni refuerza el diente. Como resultado, el riesgo de futura fractura radicular también existe con la técnica de barrera apical MTA, aunque puede ser menor que con el tratamiento con hidróxido de calcio (Chen *et al.*, 2013).

Recientemente se ha producido un cambio de paradigma en la forma en que se tratan los dientes permanentes inmaduros e infectados hacia la endodoncia regenerativa. Los procedimientos de endodoncia regenerativa (RET) se definen como "procedimientos de base biológica diseñados para reemplazar de manera predecible estructuras, incluida la dentina, las estructuras radiculares y las células del complejo dentinopulpar" (Garcia-Godoy; Murray, 2012). El concepto fue desarrollado por Nygaard-Östby en 1961, aunque con un éxito limitado (Jyothi, 2012; Thomson; Kahler, 2010; Nygaard-Östby, 1961).

El objetivo de RET es estimular el crecimiento de tejido en el conducto radicular y la posterior deposición de tejido duro (Andreasen; Bakland, 2012; AAE, 2016; do Couto *et al.*, 2019).

La endodoncia regenerativa se basa en la triada de ingeniería de tejidos: células madre, factores de crecimiento y un andamiaje proteico, como plasma rico en plaquetas, dentro del espacio del conducto radicular para permitir la repoblación de células madre, la regeneración de tejido pulpar y continuación del desarrollo radicular con cierre apical (Lovelace *et al.*, 2011; Aggarwal *et al.*, 2012; Nygaard-Östby, 1961). La principal ventaja de los procedimientos regenerativos es el desarrollo continuo de las raíces, un resultado que no se produce con las técnicas de apexificación (Shin *et al.*, 2009).

El procedimiento generalmente consta de tres etapas: (I) desbridamiento del canal y apósito triple con pasta antibiótica; (II) inducción del sangrado y colocación de MTA en la unión cemento esmalte (UCE); y (III) restauración del diente, horas o días

después (McTique *et al.*, 2013). La inducción del sangrado libera células madre mesenquimales multipotentes e indiferenciadas al espacio del conducto radicular (Hargreaves *et al.*, 2013; Garcia-Godoy; Murray, 2012). También puede proporcionar factores de crecimiento para la proliferación y diferenciación de células madre y un andamio proteico en forma de plasma rico en plaquetas para la regeneración de tejidos (Rafter, 2005; Mohammadi, 2011; Thomson; Kahler, 2010). La supervivencia de estas células madre se ve facilitada por un buen suministro de sangre apical y contribuye a la revascularización pulpar (Shin *et al.*, 2009). Los estudios de histología humana de Hargreaves *et al.* usando la reacción en cadena de polimerasa con transcripción inversa en tiempo real confirmaron que al invocar el sangrado intracanal se administraban células madre a los conductos radiculares y que los niveles de sus marcadores moleculares (CD73 Y CD105) eran hasta 400 a 600 veces mayores que los niveles sistémicos (Hargreaves *et al.*, 2013; Lovelace *et al.*, 2011). Si bien se desconoce la fuente exacta de las células madre, las células madre de la papila apical se consideran la fuente más probable (Aggarwal *et al.*, 2012). Otras posibles fuentes de tejidos locales incluyen células madre del ligamento periodontal, folículo dental, pulpa dental, hueso alveolar o, menos probablemente, sangre sistémica (Lovelace *et al.*, 2011; McTique *et al.*, 2013). La desinfección del conducto radicular es esencial antes de provocar sangrado y generalmente se logra con irrigación con hipoclorito de sodio al 2,5-5,25% y el uso de una pasta triple antibiótica altamente efectiva (ciprofloxacina, metronidazol y minociclina) como apósito entre citas (Huang, 2008; Aggarwal *et al.*, 2012; Kim; Chandler, 2013; Thomson; Kahler, 2010; McTique *et al.*, 2013; Hargreaves *et al.*, 2008). Los tiempos de desinfección con antibióticos han variado en los estudios de 1 a 11 semanas (Nygaard-Östby, 1961). No se recomienda o debe ser mínima la instrumentación mecánica y no se recomienda el hidróxido de calcio debido a la posibilidad de matar células pulpares viables o células madre necesarias para la maduración de la raíz y su potencial de causar calcificación del canal pulpar (Huang, 2008; Aggarwal *et al.*, 2012; Thomson; Kahler, 2010; Nygaard-Östby, 1961). También se han utilizado como irrigantes clorhexidina y peróxido de hidrógeno; sin embargo, se prefiere el hipoclorito de sodio debido a su buena acción antimicrobiana y efectos de disolución de tejidos orgánicos (Nygaard-Östby, 1961; McTique *et al.*,

2013). Se planteó también el enjuague con EDTA después del enjuague con hipoclorito de sodio debido a sus efectos positivos sobre los factores de crecimiento en la dentina y la adhesión de las células madre dentales a las paredes de la dentina (Lin; Kahler, 2017; Galler *et al.*, 2016; AAE, 2016).

Los estudios recomiendan el uso de anestésicos locales sin vasoconstrictores al inducir sangrado en el canal, que no debe realizarse hasta que el diente esté asintomático (Garcia-Godoy; Murray; 2012, Nygaard-Östby, 1961; McTique *et al.*, 2013). Una vez que se ha inducido el sangrado del canal, se permite que se forme un coágulo de sangre cerca del nivel de la UCE y esto se cubre luego con una capa de 3 a 4 mm de MTA blanco (hasta la UCE) (Garcia-Godoy; Murray, 2012; McTique *et al.*, 2013; Lawley *et al.*, 2004). No se requiere obturación del conducto radicular y el diente se restaura con una restauración adhesiva (Jyothi, 2012). Esto tiene como objetivo revascularizar y continuar la formación de la dentina, lo que lleva al engrosamiento de las paredes de la dentina y finalmente a la obliteración del espacio pulpar. Sin embargo, también puede ocurrir crecimiento de ligamento periodontal, cemento y/o hueso (Andreasen; Bakland, 2012; AAE, 2016).

En numerosos estudios se ha demostrado que los procedimientos regenerativos alivian los síntomas, aumentan el ancho de la pared del canal y promueven el desarrollo continuo de la raíz (Lovelace *et al.*, 2011; Kim; Chandler, 2013; Thomson; Kahler, 2010). El desarrollo continuo de la raíz es menos predecible que el engrosamiento de las paredes del conducto (Kim; Chandler, 2013). Otros resultados positivos incluyeron la resolución del tracto sinusal y la periodontitis apical y la curación apical (Lovelace *et al.*, 2011). Algunos estudios han demostrado respuestas positivas a las pruebas de sensibilidad pulpar a pesar de la presencia inicial de un tracto sinusal de drenaje (Thomson; Kahler, 2010). Un estudio retrospectivo de 30 casos seguidos durante hasta 1 año enumeró sólo dos casos con complicaciones menores después de la endodoncia regenerativa, que incluyeron molestias o decoloración (Garcia-Godoy; Murray, 2012). Un estudio de McTique *et al.* de 32 dientes con signos radiológicos y/o clínicos de patología apical mostraron curación apical en 31 dientes, cierre del ápice radicular en 23 dientes, paredes radiculares engrosadas en 22 dientes y aumento de la longitud de la raíz en 21 dientes (McTique *et al.*, 2013). El diente que no logró sanar había sido nuevamente traumatizado y se

perdió la restauración coronal (McTigue *et al.*, 2013). Otros dos análisis retrospectivos encontraron que los procedimientos regenerativos tuvieron una mejor supervivencia de los dientes en comparación con la apexificación con hidróxido de calcio (100% frente a 77%, respectivamente) y un aumento significativo en la longitud y el ancho radiográficos de la raíz en comparación con la técnica de barrera apical MTA (Gaitonde; Bishop, 2007; Jeeruphan *et al.*, 2012).

Las desventajas de los procedimientos regenerativos incluyen un mayor número de citas y tiempos de tratamiento más prolongados en comparación con la técnica de barrera apical MTA (Nygaard-Östby, 1961). Es de destacar la incidencia significativamente mayor de efectos adversos como dolor intraoperatorio o posoperatorio, brotes, tinciones o la necesidad de blanqueamiento interno, reinfección y fractura en los protocolos de revitalización en comparación con los dientes que recibieron tapones apicales de MTA (Alobaid *et al.*, 2014). Además, no todos los estudios han informado resultados favorables para el desarrollo continuo de la raíz, observándose ausencia de un aumento de la longitud o del grosor de la pared de la raíz y falta de cierre apical (Nygaard-Östby, 1961).

Las ventajas de la revitalización en comparación con la colocación de tapones apicales de MTA han sido descritas por Narang *et al.* (2015) quienes identificaron un cierre apical mejorado, un mayor alargamiento radicular y un engrosamiento de la pared dentinaria en los dientes como consecuencia de la revitalización con coágulos sanguíneos, fibrina rica en plaquetas y plasma rico en plaquetas.

Con más evidencia que lo respalde, los procedimientos de endodoncia regenerativa pueden convertirse en el tratamiento estándar de oro para los dientes permanentes inmaduros infectados. Es la única opción de tratamiento que promueve el desarrollo continuo de la raíz, reduciendo el riesgo de futuras fracturas de la raíz y mejorando la relación general entre corona y raíz del diente tratado. Afortunadamente, en el caso de que un procedimiento regenerativo no sea eficaz para aliviar los síntomas, no excluye un tratamiento adicional y se puede iniciar la apexificación con hidróxido de calcio o MTA (Huang, 2008).

Independientemente de la etiología, un diente inmaduro con ápice muy abierto y paredes dentinarias delgadas y frágiles oscurece el uso de técnicas de conducto radicular convencionales (Trope, 2010) E independientemente de si el elemento

inmaduro se tratará con un procedimiento de apexificación o uno regenerativo, el abordaje endodóntico de ellos deberá ser especial y cuidadoso en varias instancias del protocolo de tratamiento, desde la exploración, la determinación de la longitud de trabajo, la instrumentación, la irrigación, la obturación del conducto y la restauración posterior.

En razón de que en muchos casos haya tejido vital en la porción apical, la exploración debe hacerse con cuidado. La presencia de hemorragia como consecuencia de la exploración servirá como indicador de la necesidad de conservar la vitalidad del tejido remanente. La preservación de esta pequeña cantidad de tejido podría mantener la integridad de las células epiteliales de la vaina de Hertwig, responsables de la formación radicular. Si estas células se preservan la formación radicular podrá alcanzar un tamaño normal. (Goldberg, 2002)

La instrumentación debe hacerse sin ejercer una acción intensa sobre las paredes dentinarias. Es preciso recordar que en estos casos, esas paredes son muy delgadas y poco resistentes. Se debe controlar en forma constante la relación del tope de goma con el borde de referencia, manteniendo la longitud de trabajo. La ausencia de un stop apical favorece la sobreinstrumentación. Debe actuarse con precaución para no instrumentar excesivamente en unas paredes radiculares ya delgadas y relativamente frágiles. Los clínicos tampoco deben engañarse si piensan que pueden girar los instrumentos contra todas las paredes del sistema de conductos para el desbridamiento completo, especialmente en conductos que divergen apicalmente (Goldberg, 2002).

Con recomendaciones de instrumentación mínima en dichos dientes, la desinfección se basa en la acción del irrigante y del medicamento intracanal (Trope, 2010) por lo que debemos poner hincapié y mejorar todo lo que sea posible el protocolo de desinfección en estos elementos.

Goldberg también señala que la irrigación es básica en el desbridamiento de dientes inmaduros y, con precauciones adecuadas, los clínicos no deben dudar y beneficiarse de las propiedades antimicrobianas y disolventes de tejido del NaOCl. Los dispositivos sónicos, ultrasónicos y vibratorios capaces de activar el irrigante en el conducto pueden ser ventajosos (Goldberg, 2002)

El hipoclorito de sodio (NaOCl) es el irrigante más utilizado en el tratamiento de endodoncia (Wright; Walsh, 2017) ha sido considerado el principal irrigante endodóntico debido a su efecto antimicrobiano y su capacidad para disolver el tejido blando y los residuos pulpares en el conducto radicular. (Rahimi *et al.*, 2014, Mohammadi, 2008) Sin embargo, la actividad citotóxica del NaOCl puede causar lesiones agudas en el conducto periapical cuando el compuesto se extruye más allá del ápice, causando hemólisis, ulceraciones y destrucción de células endoteliales y fibroblastos, lo que resulta en enfisema, trismus y defectos sensoriomotores. (Guivarc'h *et al.*, 2017)

Inmediatamente después de un accidente de NaOCl, algunos pacientes sienten un dolor intenso y muestran hinchazón en la cara (Zhu *et al.*, 2013). Además, debido a la vasodilatación, pueden producirse hemorragias en el tejido intersticial (equimosis) y edema. Otros síntomas descritos en los informes de casos incluyen, entre otros, úlceras en la piel, hinchazón que se expande hacia la región periorbitaria o hacia el esternón, áreas de piel anémicas, olor a cloro en la nariz, irritación de la garganta y dificultades respiratorias (Becker *et al.*, 1974; Sabala; Powell, 1989). En la mayoría de los casos, estos signos y síntomas se resuelven en un mes, pero los pacientes pueden experimentar parestesia persistente o pérdida permanente de la función sensorial cuando el accidente de NaOCl provocó daño a los nervios (Bosch-Aranda *et al.*, 2012; Kleier *et al.*, 2008; Pelka; Petschelt, 2008). Además, el daño a las células madre en la región periapical por el hipoclorito de sodio extruido puede tener un efecto perjudicial en los procedimientos regenerativos (Martin *et al.*, 2014). Aproximadamente el 42 % de los endodoncistas describieron la ocurrencia de al menos una extrusión de NaOCl más allá del ápice durante su carrera. (Kleier *et al.*, 2008)

La eficacia del desbridamiento químico de un protocolo de irrigación depende de la anatomía del conducto radicular, la presencia de biopelícula y tejido necrótico, el tipo de solución de irrigación y el método de administración dentro del conducto radicular. La jeringa y la aguja son los dispositivos de irrigación más utilizados en endodoncia. El tipo de aguja (abierta o cerrada) y el nivel de colocación de la punta determinan su seguridad y eficacia (Boutsioukis *et al.*, 2010). Se ha recomendado la irrigación ultrasónica pasiva para la eliminación de residuos necróticos y



medicamentos intracanal para lograr conductos radiculares limpios y desinfectados (Gu *et al.*, 2009). Sin embargo, se puede observar cierta extrusión periapical independientemente del sistema o técnica de irrigación utilizada, cuando el conducto radicular se prepara hasta la constricción apical y se preserva la permeabilidad apical (Tanalp; Güngör, 2014). La ausencia de constricción apical proporciona a la solución de irrigación un acceso sin obstáculos a los tejidos periapicales en los dientes maduros. El riesgo de extrusión aumenta aún más en dientes inmaduros con conductos radiculares divergentes o paralelos con ausencia de constricción apical y agujero apical ancho. (Sharma *et al.*, 2020)

Los factores que desempeñan un papel en la extrusión del irrigante apical son innumerables. Por ejemplo, acuñar la aguja de irrigación puede promover la extrusión de NaOCl (Psimma *et al.*, 2013). Además, se cree ampliamente que la reabsorción de la raíz apical y un agujero apical grande aumentan el riesgo de extrusión del irrigante (Hülsmann; Hahn, 2000). Mathew (2015), también planteó que la cantidad de irrigante extruido podría estar relacionada con la aplicación de alta presión sobre las jeringas, el acuñamiento de la aguja y el gran tamaño del ápice, que se observa con mayor frecuencia en dientes inmaduros. Para reducir la probabilidad de incidentes de extrusión, se recomiendan cánulas con ventilación lateral para administrar irrigantes a la porción apical de un conducto radicular (Bowden *et al.*, 2006). Esta recomendación se basa en la observación de que las presiones apicales disminuyen cuando se utilizan cánulas con ventilación lateral en lugar de cánulas abiertas (Shen *et al.*, 2010). Además, los factores relacionados con el operador, como la fuerza aplicada al émbolo de una jeringa y la profundidad de inserción de la aguja de irrigación, tienen una influencia determinante en la presión apical y, por tanto, en el riesgo de extrusión del irrigante (Becker *et al.*, 1974; Shen *et al.*, 2010).

La colocación de la aguja cerca del ápice de la raíz se asocia con una mayor extrusión en los dientes maduros. Sin embargo, un estudio que investigó el efecto de la profundidad de inserción de dos agujas para la extrusión de irrigación en dientes inmaduros no encontró ninguna diferencia significativa entre 2 y 4 mm cuando el diámetro apical era de 1,70 mm (Aksel *et al.*, 2014). También se ha informado que la acción del irrigante se limita a 2 mm desde la punta de la aguja durante la irrigación con presión positiva (Boutsioukis *et al.*, 2010b).

El caudal de la irrigación con jeringa convencional lo controla el médico, quien, como consecuencia, desempeña un papel importante en la administración segura de las soluciones de irrigación (Boutsioukis *et al.*, 2007). Los odontólogos deben tener cuidado al administrar irrigantes con fuerza excesiva: la irrigación con jeringa debe realizarse con una presión baja y constante (Bosch-Aranda *et al.*, 2012). Para evitar la extrusión apical, el caudal debe ajustarse al tamaño y diseño de la aguja (Shen *et al.*, 2010). Con una cánula G30, la administración de 5 ml de NaOCl debe durar al menos 38 segundos (<8 ml/min)

Un estudio basado en el modelo de dinámica de fluidos computacional (CFD) reveló que un irrigante extruido con una aguja de extremo abierto ejerce una mayor presión media en el ápice de la raíz en comparación con una aguja de ventilación lateral, insertada a la misma profundidad (Boutsioukis *et al.*, 2009)

Se recomienda una técnica de irrigación con presión negativa en elementos con ápice abierto para minimizar la extrusión periapical (Velmurugan *et al.*, 2014). Los resultados de un estudio in vivo reciente sugieren que la irrigación ultrasónica pasiva o activada por láser Er, Cr: YSGG es segura de usar en dientes con ápice abierto (Peeters *et al.*, 2018).

Endovac es un sistema de irrigación por presión negativa desarrollado para minimizar la extrusión. Este sistema simultáneo de administración y evacuación contraviene el efecto de bloqueo de vapor y facilita la administración de la solución en el tercio apical (Velmurugan *et al.*, 2014)

También se encontró que la fuerza gravitacional tiene un impacto en la cantidad de irrigante extruido cuando se utilizan técnicas de irrigación con presión positiva. La utilización de la macrocánula del sistema EndoVac™ (EV) (Discus Dental, Smart Endodontics, Culver City, CA, EE. UU.) en dientes inmaduros es un enfoque más confiable durante la irrigación, ya que previene la extrusión de irrigante relacionada con la gravedad. (Namsøy *et al.*, 2022)

La eficacia de las soluciones de irrigación podría aumentarse mediante el uso de técnicas de activación de irrigantes que promuevan una mejor limpieza y desinfección en áreas anatómicamente complejas (Sabins *et al.*, 2003; Keskin *et al.*, 2017). Existen varios dispositivos que permiten realizar la agitación por diferentes métodos (Baldasso *et al.*, 2007).

El uso de estos dispositivos de agitación en dientes inmaduros genera preocupación debido al posible riesgo de extrusión del irrigante (dos Reis *et al.*, 2020)

Un estudio reciente (dos Reis *et al.*, 2020) evaluó el volumen de extrusión de irrigante en dientes inmaduros utilizando diferentes técnicas de irrigación (presión positiva y sin agitación, agitación con Irrisonic, Irrisonic Power, Easy Clean, XPendo Finisher y Eddy). Todas las técnicas dieron como resultado la extrusión de irrigante; sólo se mostró una diferencia estadísticamente significativa ( $P < 0,05$ ) para el grupo de agitación sónica con Eddy, con valores de volumen más altos que los de los otros grupos. A diferencia de los otros grupos, la forma en que funciona este instrumento puede justificar su mayor potencial de extrusión porque presenta un amplio movimiento oscilatorio, mejorando la cavitación y la transmisión acústica (Donnermeyer *et al.*, 2019). Además, tiene un cono más grande que puede dificultar el escape del irrigante en dirección coronal. Los otros instrumentos no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre ellos, incluso considerando el grupo sin agitación; todos los grupos presentaron valores máximos inferiores a 0,1 mL. Este hecho es relevante en endodoncia regenerativa porque permite utilizar un método de agitación con el mismo patrón de extrusión que el de la irrigación convencional pero con un potencial de limpieza y descontaminación optimizado.

El resultado de este estudio también planteó que cuando se usan activadores en rotación continua, los instrumentos con una conicidad más baja probablemente favorezcan menores volúmenes de extrusión por presentar un área de escape mayor en dirección coronal.(dos Reis *et al.*, 2020)

Otras investigaciones demostraron la eficacia del gel de hipoclorito de sodio como irrigante intracanal; Al Sudani y Al Omar (2011) demostraron su eficacia para eliminar la capa de barro a una concentración del 2,5% en comparación con una solución de NaOCl a la misma concentración. Este resultado fue consistente con el estudio realizado por Zand *et al.* (2016), quienes no observaron diferencias significativas entre Gel y solución de NaOCl al 2,5% para la eliminación de la capa de barrillo. Además, Nejad Shamsi *et al.* (2017) reportaron el mismo efecto del gel de NaOCl sobre el crecimiento de *E. faecalis* que en el caso de la solución de NaOCl a la misma concentración, por lo que lo consideran seguro como irrigante. Un estudio reciente también concluyó que el gel de hipoclorito de sodio es más seguro que la

solución cuando se irrigan dientes inmaduros con un diámetro apical  $\leq 2,5$  mm (Al-Nesser; Bshara, 2019)

Es bastante difícil preparar o desbridar incisivos de ápice abierto sin dañar la fina y quebradiza pared dentinaria para realizar el procedimiento de apexificación. Además, el limado manual excesivo puede dañar los restos de la vaina radicular de Hertwig y la papila Apical (Huang *et al.*, 2008), impidiendo una mayor formación del ápice radicular. Además, el limado manual excesivo puede debilitar aún más los dientes permanentes inmaduros con pared dentinaria delgada, lo que resulta en fracturas de los dientes después del tratamiento. El limado ultrasónico tiene un alto potencial para reemplazar el limado manual convencional, porque tiene una alta eficacia en la limpieza del conducto radicular infectado (Richman, 1957; Ahmad *et al.*, 1987). Si se combina con una solución de irrigación antibacteriana, el ultrasonido puede promover la rápida penetración de agentes antimicrobianos en los túbulos dentinarios produciendo posteriormente un efecto sonosinérgico para desinfectar el sistema de conductos radiculares (Martin, 1976). Una pequeña lima utilizada ultrasónicamente sin contacto directo con la pared del conducto radicular puede crear una mayor transmisión acústica, mayor velocidad, más potencia y mejor eficiencia para limpiar la superficie del conducto radicular que una lima grande en contacto directo con la pared del conducto radicular (Ahmad *et al.*, 1987). La irrigación activada por ultrasonidos por sí sola puede romper la pared celular bacteriana y proporcionar una limpieza eficaz del sistema de conductos radiculares infectado, incluidos los túbulos dentinarios infectados (Martin, 1976; Ahmad *et al.*, 1987, Walmsley, 1987). Si se combina con una solución de irrigación antibacteriana, los ultrasonidos pueden promover la rápida penetración de agentes antimicrobianos en los túbulos dentinarios, produciendo posteriormente un efecto sonosinérgico para desinfectar el sistema de conductos radiculares (Martin, 1976). Una pequeña lima utilizada ultrasónicamente sin contacto directo con la pared del conducto radicular puede crear una mayor transmisión acústica, mayor velocidad, más potencia y mejor eficiencia para limpiar el conducto radicular superficie que una lima grande en contacto directo con la pared del conducto radicular (Ahmad *et al.*, 1987).

Estudios epidemiológicos muestran evidencia sobre el buen control de la longitud de trabajo (WL) como requisito previo para un resultado endodóntico exitoso [Ng *et al.*,

2008; Sjogren *et al.*, 1990]. La evidencia histológica ha establecido una curación óptima cuando hay un mínimo contacto del material de obturación radicular y los tejidos periapicales (Ricucci; Langeland, 1998).

El punto de referencia más favorable para terminar la WL es la constricción apical. Sin embargo, ésta se pierde en casos de ápice inmaduro (Swati Srivastava *et al.*, 2022) Steiner *et al.* (1968) sugirieron que se debe evitar la instrumentación de la porción apical de estos conductos para evitar el adelgazamiento de sus frágiles paredes dentinarias. Por lo tanto, existe la necesidad de directrices clínicas para la determinación de WL en dichos dientes (Aguar *et al.*, 2017) La evaluación predecible de WL ha sido posible con la invención de los localizadores apicales electrónicos (EAL). A pesar de tener una precisión del 80-90% en la mayoría de los conductos radiculares (Gordon; Chandler, 2004), su rendimiento puede verse limitado por múltiples factores como el tipo de electrolitos en los conductos y la ausencia de constricción apical. Varios estudios han señalado que los EAL dan resultados poco fiables en dientes con ápices abiertos (Huang 1987; Hülsmann; Pieper, 1989). Se ha reportado en la literatura que los EAL pueden dar resultados impredecibles en diversas condiciones como presencia de restauraciones metálicas que conducen a descargas eléctricas cortocircuito, tamaño del agujero apical, tipo y tamaño de la lima de medición, solución de irrigación utilizada y electroconductividad de la pulpa (Herrera *et al.*, 2011)

Deducible de sus limitaciones, el uso de EAL y radiografías debe mejorarse con diferentes estrategias, particularmente al tratar terminaciones apicales extremadamente anchas. En los dientes con rizogénesis incompleta, al no estar formada por completo la porción apical de la raíz, la imagen radiográfica del ápice es poco definida. Para facilitar la odontometría, se puede considerar una línea imaginaria que una los extremos de la imagen radiográfica de la raíz. A partir de esta línea, se resta al rededor de 1mm. (Goldberg. 2002). La tomografía computada de haz cónico Cone Beam (CBCT) está validada como una herramienta para explorar la morfología del conducto radicular en 3 dimensiones y, en algunos estudios, también se utilizó para estimar la WL. Las mediciones CBCT en combinación con EAL también pueden ser útiles para determinar la WL (Jeger *et al.*, 2012)

También, el médico puede aprovechar de cualquier exploración CBCT preexistente de pacientes que pueda ayudar en la estimación de una WL precisa. Sin embargo en realidad, la disponibilidad de unidades CBCT en todos los establecimientos dentales en todo el mundo podría ser un desafío. Además es posible que los pacientes con ápice abierto no tengan ningún registro de CBCT preexistente. Siguiendo el principio ALARA (tan bajo como sea razonablemente posible) (Farman, 2005; Jaju; Jaju, 2015), solo se pueden utilizar en casos en los que se hayan realizado exploraciones CBCT preexistentes para el diagnóstico. (Swati *et al.*, 2020)

Una punta de secado constante, determinada con puntas de papel, puede aportar información adicional útil de la longitud (Baggett *et al.*, 1996).

Una medición EAL inexacta puede dar lugar a mediciones cortas o largas. Si los procedimientos de conducto se realizan antes de la WL en casos vitales, no se esperan consecuencias negativas.(Sjogren *et al.*, 1990) En casos infectados, a veces los tejidos apicales son vitales (Langeland, 1976) y la WL corta probablemente no influirá en los resultados posteriores al tratamiento. Si se retienen tejidos necróticos e infectados en la zona apical, esto puede tener consecuencias negativas (Sundqvist, 1992; Siqueira, 2003). Las mediciones largas son mucho más peligrosas, ya que pueden provocar una sobreinstrumentación y una sobreextensión de la obturación (Gluskin, 2007; Gutmann, 2016). Traumatismos mecánicos y químicos directos (por ejemplo, irrigación con hipoclorito de sodio más allá del ápice), junto con la extravasación masiva de desechos, pueden provocar brotes y dolor posoperatorio (Gesi *et al.*, 2006; Yildirim *et al.*, 2017), así como prolongar significativamente el proceso de curación (Fristad *et al.*, 2004) o impedir la curación por completo (Yusuf, 1982). En algunos casos, las estructuras anatómicas vecinas también pueden verse involucradas y lesionadas, incluido el seno maxilar (Khongkhunthian; Reichart, 2001), y los nervios mentoniano (Barkhordar; Nguyen, 1985) y mandibular (Lvovsky *et al.*, 2018).

El efecto del sobrellenado involuntario de los conductos radiculares con MTA durante la colocación como tapón apical o como material de reparación de perforaciones en la furca o reabsorción interna ha sido evaluado en varios informes de casos (Tahan *et al.*, 2010; Tezel *et al.*, 2010; Comin Chiamonti; Cavalleri ,2011; Brito-Junior *et al.*, 2012; Nosrat *et al.*, 2012b; Chang *et al.* 2013, Nagmode *et al.*,

2016). En raíces inmaduras con paredes paralelas o convergentes, MTA podría colocarse en una posición “ideal” mucho más a menudo se compara con un conducto radicular divergente (Moore *et al.*, 2011). El MTA extruido puede ser absorbido y por lo tanto, no interfiere con la curación del tejido perirradicular, o provocar síntomas persistentes que requieren tratamiento adicional, como cirugía apical para brindar alivio y asistencia. (Nosrat *et al.*, 2012b).

Mente *et al.* (2013) informó que el efecto negativo de la extrusión de MTA en la región periapical sobre el resultado del tratamiento fue marginalmente significativo cuando el material se utilizó como tapón apical en dientes con ápices abiertos. Se han introducido varias técnicas e instrumentos novedosos para facilitar el tratamiento clínico con MTA (Pannkuk, 2011). Se han formulado varias recomendaciones para evitar la extrusión de MTA, como el uso de una Matriz de fibrina rica en plaquetas antes de colocar un tapón apical (Yadav *et al.*, 2015). Y se ha intruducido una técnica novedosa para colocar MTA en dientes con ápices de gran diámetro. (Giovarruscio *et al.*, 2013). En conclusión, el MTA y la mayoría de los cementos biocerámicos (BEC) son biocompatibles. Hay un número limitado de investigaciones con bajos niveles de evidencia sobre el sobrellenado de BEC.

La extrusión de excesivo material en los tejidos perirradiculares no es deseable y debe evitarse. Por lo tanto, los profesionales deben evitar la sobreextensión excesiva de los materiales mediante la implementación de una técnica de colocación meticulosa durante el tratamiento. (Torabinejad *et al.*, 2018b)

Se puede utilizar una matriz en los procedimientos de apexificación contra la cual se puede colocar y condensar MTA. El uso de una matriz apical permite la colocación predecible y el uso juicioso de este costoso material. Se han recomendado varios materiales para crear una matriz, incluidos sulfato de calcio, hidroxapatita, colágeno reabsorbible y fibrina rica en plaquetas. (Alhadainy *et al.*, 1998; Bargholz, 2005; Yadav *et al.*, 2015)

La selección del cono maestro de gutapercha y del sellador son factores muy importantes para obtener un sellado hermético de la obturación del conducto radicular. Durante la selección del cono maestro de gutapercha, la retención o el retroceso del cono en el extremo del canal apical no garantiza un ajuste apical ideal, lo que ocurre sólo cuando la sección transversal del cono coincide con la sección

transversal del canal. La falta de precisión en el proceso de fabricación del cono, sumada a una elección incorrecta del tamaño del cono, podría permitir una sensación de retroceso sin un ajuste real del cono maestro al conducto radicular, lo que deja espacios y pone en peligro el sellado apical de la obturación (Souza *et al.*, 2009, Cunningham *et al.*, 2010). Aunque no se realiza de forma rutinaria en la práctica clínica, el cono de gutapercha puede sumergirse durante dos o tres segundos en agua caliente o disolvente para plastificar, insertarse en el tope apical y luego retirarse varias veces para tomar una "impresión" de la porción apical del canal. La gutapercha plastificada puede rellenar los conductos de manera más eficiente, especialmente aquellos con una anatomía más compleja (Wu *et al.*, 2002; Peeters *et al.*, 2010b).

Debido a las delgadas paredes dentinarias, existe una alta incidencia de fracturas radiculares en los dientes después de la apexificación. Se ha descrito por ejemplo, que del 28 al 77% de los dientes inmaduros sufrieron una fractura radicular cervical a los 3 años de medicación con  $\text{Ca(OH)}_2$  a largo plazo y obturación de la raíz con gutapercha (Cvek, 1992). El grado de desarrollo dental parece ser una variable clave. Los esfuerzos restauradores deben dirigirse a fortalecer la raíz inmadura (Rafter, 2005). Varios estudios han demostrado que el uso de las nuevas técnicas de unión dentinaria puede aumentar significativamente la resistencia a la fractura de estos dientes a niveles cercanos a los de los dientes intactos (Hernandez *et al.*, 1994). Goldberg *et al.* (2002) han demostrado el efecto reforzante de un ionómero de vidrio de resina en la restauración de raíces inmaduras.

Clínicamente, los autores piensan que las técnicas rápidas con tapón de MTA junto con la colocación interna de composite parecen haber eliminado prácticamente las fracturas radiculares verticales. Muchos de los estudios son de laboratorio y utilizan dientes simulados en vez de dientes inmaduros reales, pero se ha observado que las técnicas de adhesión dentinaria actuales refuerzan los dientes tratados endodónticamente hasta niveles cercanos a los de los dientes intactos (Guelmann *et al.*, 2004; Hernandez *et al.*, 1994; Katebzadeh *et al.*, 1998). En un estudio de 2004 (Lawley *et al.*, 2004) se demostró una resistencia significativamente mayor a la fractura radicular después de colocar un tapón apical de MTA de 4 mm de grosor



seguido de composite intraconducto en comparación con MTA seguido de gutapercha y sellador. (Cohen; Hargreaves, 2011)

Por lo tanto el objetivo de este trabajo es describir un caso clínico en donde se realizó la obturación del conducto radicular con barrera apical de biocerámico y cono personalizado

## CASO CLÍNICO

Paciente de sexo masculino de 17 años de edad que concurre a la carrera de Especialización en Endodoncia de la Facultad de Odontología de la UNCuyo derivado de la guardia de la Facultad. El motivo de consulta fue la pérdida de la restauración coronaria antigua en un incisivo central superior.

Se realizó la historia clínica médica, la cual no arrojó resultados relevantes, el paciente se encontraba en buen estado de salud, sin enfermedades sistémicas actuales ni antecedentes de ellas. Al examen bucal se observó fractura horizontal del tercio medio coronal del elemento 21, con exposición de la cámara pulpar hacia el medio bucal. Al examen de la mucosa ésta se observó normal, sin tracto sinusal ni cicatriz del mismo, sí se observó gingivitis marginal generalizada. El paciente refirió no tener ningún tipo de sintomatología en el elemento dentario ni haberla tenido nunca, haber sufrido un traumatismo a los 8 años en una caída y haber recibido en ese momento atención profesional en la que se le restauró la corona del elemento fracturado. El paciente refirió no tener conocimiento sobre si recibió algún tratamiento endodóntico. Luego de esa oportunidad, el paciente no asistió a otras consultas odontológicas en la que se haya evaluado el elemento dentario, hasta que se despegó la restauración que portaba, en la actualidad, siendo ese el motivo de su consulta. A la percusión vertical el paciente refirió no tener sintomatología, al igual que a las pruebas de sensibilidad térmicas, a las cuales no hubo respuesta.

En el examen bucal también se observó resto radicular del elemento 12 con fractura vertical mesio distal, con movilidad del segmento palatino, por lo que este elemento se descartó como candidato a recibir un tratamiento endodóntico.

Al examen radiográfico del elemento 21 (Fig. 1) se observó canal radicular amplio y zona de foramen apical poco definida, ensanchamiento del ligamento periodontal en la zona apical y también por distal del elemento, y moderada radiolucidez del hueso apical. Se comunicó al paciente los hallazgos radiográficos encontrados, las opciones de tratamiento y su pronóstico y se decidió intentar un tratamiento de apexificación en una sola visita, por lo que se comenzó el tratamiento con la infiltración de anestesia (Anescart Forte, Sidus, Argentina). Se completó la apertura y el acceso al conducto, se aisló el elemento mediante aislamiento absoluto con dique de goma y se

realizaron lavajes con hipoclorito de sodio (NaOCl) al 5,25% en el tercio coronal y medio del conducto. Luego se realizó la conductometría (Fig. 2) introduciendo en el conducto una lima K n° 55 (K-File Dentsplay Maillefer) conectada a un localizador electrónico apical (Endo-Radar, Woodpecker DTE) hasta llegar a una longitud de 20,5mm desde un punto de referencia sobre el borde incisal fracturado, longitud marcada como “apex” por el localizador electrónico.



Fig. 1- Radiografía preoperatoria



Fig. 2- Conductometría

A pesar de no ser muy claros los límites radicales en las imágenes radiográficas obtenidas hasta el momento, se determinó que la lima se encontraba sobrepasando el límite apical, por lo que se decidió restar 1mm y medio a la longitud marcada por el localizador para evitar una sobreinstrumentación, y determinar entonces la longitud de trabajo a 19mm. Se instrumentó de forma manual el tercio apical con limas K (K-File Dentsplay Maillefer) progresivamente hasta la lima número 80, y los tercios medio y coronal con las mismas limas ejerciendo una leve presión contra las paredes del conducto. Entre lima y lima se irrigó con hipoclorito de sodio (NaOCl) al 2,5% luego se realizó un lavaje con EDTA (Endo-Quim Tedequim) y otro con NaOCl al 2,5% nuevamente. Los irrigantes se agitaron con ultrasonido Woodpecker (Fig. 3) y se intercalaron con solución fisiológica estéril.



Fig. 3- Woodpecker Modelo UDS-P. Frecuency 28 kHz±3 kHz

Se secó el conducto con conos de papel absorbente (Meta Biomed) y se colocó un tapón de Biocerámico (Bio- C Repair, Angelus, Brasil) condensándolo hasta el extremo apical con un condensador manual nº 4 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suiza) (Fig. 4), el cual bajaba hasta 4mm antes de la longitud de trabajo. Luego se limpió el excedente de biocerámico de las paredes del conducto dejándolo limpio y seco para un buen cementado posterior (Fig. 5), y se colocó una punta de papel absorbente humedecida con solución fisiológica en el conducto para ayudar al fraguado del biocerámico apical. Se confirmó la densidad y el grosor del tapón mediante radiografía (Fig. 6).



Fig. 4- Condensación de Bio C Repair

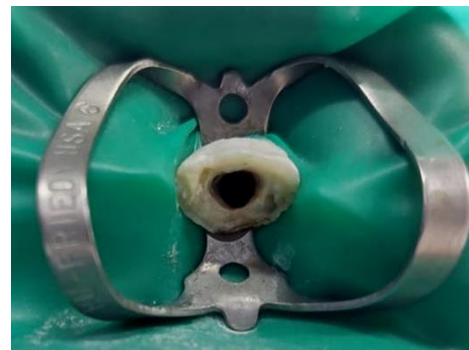


Fig. 5- Conducto limpio y seco



Fig. 6- Verificación radiográfica de tapón de Bio C Repair

Se decidió terminar de obturar el conducto mediante condensación lateral de guttapercha, por lo que mientras terminaba de fraguarse el tapón de Bio C repair, se confeccionó un cono maestro individualizado debido al gran tamaño del resto del conducto, mediante la unión con calor de tres conos de guttapercha n° 80. Luego se termoplastificó la punta del cono para tomar una impresión del conducto, adaptandolo lo mejor posible al tapón apical y a la forma apical del conducto, verificando su adaptación radiológicamente (Fig.7 y 8). Se cementó el cono maestro con MTA Fillapex (Angelus, Brasil) y se terminó la obturación con condensación lateral de conos accesorios FM (Meta Biomed). Se cortartaron los conos, se condensó verticalmente y se limpió y secó la cámara pulpar con torunda de algodón y alcohol (Fig. 9 y 10).

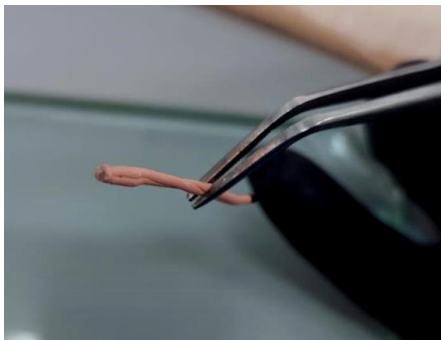


Fig. 7- Cono maestro individualizado



Fig. 8- Conometría

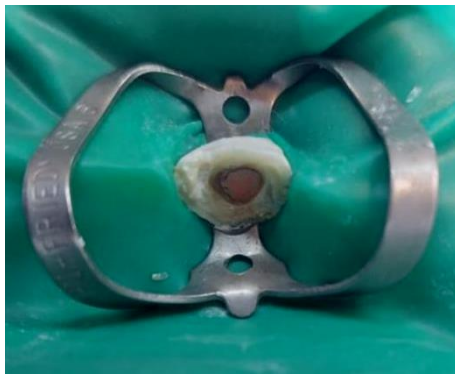


Fig. 9 y Fig. 10 - Cámara pulpar limpia y seca

Se selló la cámara pulpar con ionómero vítreo (Riva selfcure SDI, Australia) (Fig. 11) Y por último se confirmó el final de tratamiento mediante una radiografía periapical (Fig. 12), y se derivó al paciente para realizar la posterior restauración coronaria del elemento tratado y para realizar exodoncia del elemento 12.



Fig. 11- Cámara sellada con Ionómero Vítreo



Fig. 12- Radiografía postoperatoria

## DISCUSIÓN

El MTA se ha convertido en el material de elección para la técnica de apexificación debido a numerosas ventajas sobre el Ca (OH)<sub>2</sub> (Aggarwal *et al.*, 2012). MTA permite una duración más corta del tratamiento y un mejor cumplimiento por parte del paciente (Thomson; Kahler, 2010). MTA tiene buena biocompatibilidad, respaldada por estudios que han demostrado que el MTA extruido no produce una respuesta adversa del huésped ni afecta la curación periapical (Cehreli *et al.*, 2011). El MTA también tiene buena capacidad de sellado y su capacidad para fraguar en ambientes húmedos es ventajosa (Cehreli *et al.*, 2011, Tselnik *et al.*, 2004). Basado en éstas y en las muchas otras evidencias sobre las ventajas del MTA, éste fue el material de elección para generar la apexificación en el elemento de nuestro paciente.

También hay evidencia de buenos resultados en la técnica de apexificación con hidróxido de calcio, una revisión sistemática y un metanálisis que comparó la apexificación con Ca (OH)<sub>2</sub> versus MTA concluyó que el éxito clínico de los procedimientos (evaluado como resultado clínico y formación de la barrera apical) fue el mismo y las diferencias en el éxito no alcanzaron significación estadística (Chala *et al.*, 2011). Sin embargo, la técnica de barrera apical MTA sigue siendo preferible a la apexificación con Ca (OH)<sub>2</sub> incluso si los resultados son similares debido al tiempo reducido de tratamiento y el mayor riesgo de fractura con apósitos de Ca (OH)<sub>2</sub> a largo plazo. (García-Godoy; Murray, 2012)

En la mayoría de los casos de apexificación con MTA, el procedimiento puede ser completado en un máximo de dos sesiones, lo que posibilita restaurar los dientes sin afectar adversamente las propiedades mecánicas de la dentina radicular (Thomson; Kahler, 2010) En nuestro caso clínico pudimos completar todo el tratamiento en una sola cita, algo que creemos muy valioso lograr. Sobre todo por la historia del paciente referida a no asistir a consultas odontológicas desde los 8 años. Aunque haber hecho una sesión intermedia con colocación de hidróxido de calcio como medicación intraconducto para optimizar la desinfección podría haber sido ventajoso. Al no tener signos ni síntomas de una infección aguda ni de una gran lesión periapical se decidió omitir este paso.

Además de su bien documentada biocompatibilidad (Mitchell *et al.*, 1999; Oviir *et al.*, 2006), la producción de la proteína 2 morfogenética ósea (BMP-2) y factor de crecimiento transformante beta-1 (TGF  $\beta$ -1) podrían ser dos contribuyentes importantes a los beneficios biológicos que estimulan la respuesta por MTA en tejidos periapicales humanos (Güven *et al.*, 2007). También se ha demostrado que la estimulación de producción de interleuquina por el MTA puede permitir crecimiento excesivo de cemento y facilitar la regeneración del ligamento periodontal y formación de hueso (Mitchell *et al.*, 1999; Oviir *et al.*, 2006; Koh *et al.*, 1997; Al-Rabeah *et al.*, 2006). Por lo que podemos esperar también en nuestro caso clínico, que se produzca más formación de tejido duro apical. Moore *et al.* (2011) indicaron que se informó el cierre apical y el crecimiento continuo de las raíces en algunos casos tratados con la técnica de barrera apical con MTA.

En muchos ensayos clínicos se ha informado que la terapia de revascularización es un nuevo tratamiento con buena eficacia para promover el desarrollo continuo de las raíces (Bonte *et al.*, 2015; Holden *et al.*, 2008). A pesar de la alta tasa de éxito cuando se utiliza MTA como tapón apical en dientes con ápices abiertos y pulpas necróticas, los procedimientos regenerativos deben considerarse como una alternativa ya que ofrecen varias ventajas biológicas en términos de aumentar la longitud y el espesor de la pared radicular (Galler *et al.*, 2016). Sin embargo, una revisión sistemática y un metanálisis recientes informaron que tanto la revitalización como la colocación apical con MTA tuvieron una alta tasa de supervivencia y resultados exitosos sin diferencias significativas entre los procedimientos (Torabinejad *et al.*, 2017). Un número limitado de ensayos clínicos aleatorios y de cohortes compararon la colocación de tapones apicales con procedimientos de revitalización (Alobaid *et al.*, 2014; Nagy *et al.*, 2014; Silujjai; Linsuwanont, 2017) e informaron mayores tasas de éxito para los tapones apicales; sin embargo, los resultados no fueron significativamente diferentes (Alobaid *et al.*, 2014; Nagy *et al.*, 2014; Silujjai; Linsuwanont, 2017; Torabinejad *et al.*, 2017). Nagy *et al.* (2014) indicaron que se observaron más eventos adversos y menores tasas de éxito con la terapia de revascularización, concluyendo que esta terapia no fue superior a otras técnicas de apexificación. En la mayoría de los casos de apexificación (AP), después de la desinfección quimiomecánica del espacio del conducto radicular, se colocó un



material inductor con propiedades antibacterianas (hidróxido de calcio o MTA) (Damle *et al.*, 2012). Por lo tanto, si quedan bacterias residuales, se cree que su número es mínimo y se cree que el relleno radicular minimiza su acceso para sostener la lesión periapical, creando un ambiente propicio para la curación (Fabricius *et al.*, 2006; Refaei *et al.*, 2020). Por el contrario, en los casos tratados con tratamiento de endodoncia regenerativa (RET), se eliminó la medicación intracanal cuando se preparaba para inducir el sangrado o inyectar estructuras. En la etapa de regeneración, dejar el conducto radicular sin rellenar a medida que se desarrolla el tejido regenerativo puede favorecer la proliferación bacteriana si quedan bacterias residuales. Como resultado, el grupo RET tenía más probabilidades de fracasar en el tratamiento de la inflamación periapical que el grupo AP. La eficacia de la regeneración pulpar en la curación de la periodontitis periapical requiere un mayor nivel de desinfección. Los protocolos de irrigación del conducto radicular y medicación intracanal son dos componentes cruciales de la terapia endodóntica regenerativa (Fouad, 2011). Además, los procedimientos de revitalización endodóntica son técnicamente desafiantes y a menudo se asocian con decoloración de los dientes, la necesidad de más visitas de tratamiento en comparación con la colocación de tapones apicales y más dolor y malestar después del tratamiento (Alobaid *et al.*, 2014). Además de estas posibles desventajas, no consideramos lo suficientemente necesario, en nuestro caso clínico, intentar un alargamiento de la raíz y ensanchamiento de las paredes de la misma mediante un tratamiento de regeneración, debido a que el desarrollo radicular en este caso no había sido interrumpido tan tempranamente y la relación coronaradicular seguía siendo favorable, simplemente con lograr un buen sellado apical, consideramos que tendría un buen pronóstico sin necesidad de realizar un procedimiento más complejo, arriesgado y duradero.

Además, una consideración importante para los procedimientos de endodoncia regenerativa es el tamaño del agujero apical y los dientes permanentes inmaduros con un diámetro del agujero apical de 1,1 mm o más son los mejores candidatos para endodoncia regenerativa (García-Godoy; Murray, 2012). Es probable que una apertura apical menor que esta se asocie con un flujo sanguíneo limitado hacia el diente, un crecimiento de tejido obstaculizado y peores resultados clínicos (García-

Godoy; Murray, 2012; Thomson; Kahler, 2010). En nuestro caso, el tamaño del agujero apical no fue el más favorable en este sentido, en cuanto a probabilidades de éxito si se hubiera elegido un tratamiento regenerativo. La gravedad y duración de la periodontitis apical, la edad del paciente, la etapa de desarrollo radicular, tiempo de seguimiento y el trauma son factores que pueden influir en el éxito de RET (Saoud *et al.*, 2014; Lin *et al.*, 2017; Kim *et al.*, 2018)

También, los resultados a largo plazo en tratamientos de endodoncia regenerativa son inciertos, ya que no hay muchas series de casos con tiempos de seguimiento prolongados y las revisiones no muestran evidencia clara de su éxito. El uso de diferentes protocolos y su cambio a lo largo del tiempo dificulta la realización de una revisión sistemática y/o un metanálisis (Tong *et al.*, 2017). Se comenzó a tratar a niños con RET en 2009 y muchos de los estudios sobre protocolos de tratamiento son mucho más recientes (Nazzal *et al.*, 2013; AAE, 2016; Tong *et al.*, 2017). Como se muestra en el estudio de Hameed *et al.* (2019), a lo largo de los años se han utilizado muchos materiales y métodos diferentes en el procedimiento RET. Se necesita más investigación para obtener evidencia sobre el mejor protocolo de tratamiento (Hameed *et al.*, 2019). A pesar de los resultados prometedores, las dudas con respecto a la secuencia ideal del tratamiento de esta terapia permanecen (Kontakiotis *et al.*, 2015). Una de las preguntas predominantes es si el procedimiento debe considerarse un tratamiento permanente. En general, la literatura se limita a la sugerencia que estos dientes desarrollarán la obliteración de la luz del canal y deben tener seguimiento clínico-radiológico, ya que siguen siendo funcionales y libre de enfermedades durante muchos años (Wigler *et al.*, 2013). Sin embargo, esta aseveración es abierta a discusión debido a la falta de evidencia de estudios de nivel superior confirmando el éxito a largo plazo de este tratamiento (Hargreaves *et al.*, 2013; Kontakiotis *et al.*, 2014). Nygaard Østby, 1961 mostraron en humanos algunos casos de varios grados de reabsorción del canal radicular después de 10 meses, aunque se observaron hallazgos clínicos y radiográficos. Estos resultados podrían estar relacionados a la biopelícula bacteriana residual intracanal, que puede comprometer el éxito a largo plazo (Nair, 2014). Además, deberíamos considerar esa obliteración del canal de la raíz siguiendo el procedimiento de RR, podría conducir a futuras complicaciones endodónticas y protésicas.

Se sabe que un factor importante para la falla del tratamiento el conducto radicular convencional es la microfiltración coronal de la saliva (Gillen *et al.*, 2011). Por ello, utilizamos ionómero vitreo como restauración coronaria provisoria y llenado de la cámara pulpar, garantizando un sellado hermético para proteger el tratamiento. A pesar de que el fracaso debido a este factor en el contexto de la terapia de endodoncia regenerativa aún no se informó que sea una posibilidad latente. Sin embargo, un canal radicular obliterado también obstruye el adecuado tratamiento ortógrado de esta nueva infección endodóntica (Amir *et al.*, 2001; McCabe; Dummer, 2012) que comúnmente conduce a complicaciones tales como perforación de la raíz o rotura del instrumento. Además, independientemente de la edad o el género del paciente, el riesgo de un trauma dental tardío que comprometa la estructura coronal restante y la posterior colocación obligatoria intraradicular de un poste está siempre presente (Lauridsen *et al.*, 2012), lo que implica una alta posibilidad de complicaciones endodónticas en dientes previamente tratados con técnica de RR. Hasta donde sabemos, solo hay cuatro informes en la literatura en el tratamiento con la técnica de RR y el llenado intracanal posterior; Sin embargo, estos estudios de casos se realizaron debido a complicaciones durante el seguimiento y no se entendieron como un tratamiento integral. Torabinejad y Faras (2012), llenaron un segundo premolar superior con sellador y mezcla de gutapercha debido a síntomas de una pulpitis reversible. Nosrat *et al.* (2013) adaptaron MTA en el canal principal de un incisivo central superior debido a la respuesta negativa a la prueba de vitalidad. Glassman (2014), informó el llenado accidental del conducto radicular, realizado por un dentista quien desconocía la técnica de endodoncia regenerativa, con un sellador y gutapercha mezclado en un segundo premolar inferior. Žižka *et al.* (2016), llevaron a cabo un procedimiento de apexificación (barrera apical MTA) en un incisivo central superior debido a la aparición del tracto sinusal después de 3 meses al protocolo de endodoncia regenerativa.

Este es otro motivo importante para la elección, en nuestro caso, de no intentar un tratamiento de regeneración. Aunque el sellado de la cámara fue hecho correctamente, la filtración por falta de compromiso del paciente puede suceder y necesitarse realizar la endodoncia, o suceder esta necesidad por algún otro motivo.

Un sellado hermético a las bacterias y la integridad del relleno del conducto radicular en el tercio apical se considera uno de los criterios más importantes para un tratamiento exitoso del conducto radicular (Yildirim *et al.*, 2009; Pusinanti *et al.*, 2013). Al igual que un sellado adecuado en toda la longitud del conducto radicular, incluyendo el sellado coronal y lateral también (Tabrizzade *et al.*, 2014)

La condensación lateral de gutapercha fría se considera como técnica más efectiva y simple que se aplica ampliamente y es enseñada en escuelas dentales de todo el mundo (Withworth, 2005; Smith *et al.*, 2000; Peng *et al.*, 2007). La técnica del cono único incluye un gran cono cónico de gutapercha y ha sido propuesto como un procedimiento más fácil y más rápido (Schäfer *et al.*, 2013; Romania *et al.*, 2009).

En nuestro caso clínico, colocamos un tapón de MTA bien condensado y de un grosor suficiente para lograr un buen sellado apical y luego, para terminar el sellado del canal, se eligió hacerlo mediante la confección de un cono termoplastificado e impresionado para tomar la forma del canal, maximizando la cantidad de guttapercha y minimizando la cantidad de espacios rellenos sólo con sellante. Luego de colocar dicho cono maestro que ocupaba el mayor espacio posible del canal, se completó la obturación mediante condensación lateral, dejando así un conducto prolijamente y completamente sellado, como se pudo comprobar en las radiografías de verificación del tapón apical, conometría y radiografía final, donde se ve un relleno del canal uniforme sin imágenes radiolúcidas compatibles con espacios o burbujas en el material de relleno.

Un número limitado de artículos evalúan el sello apical de la técnica condensación lateral en frío de gutapercha, técnica de cono único y técnicas de obturación con gutapercha caliente en el mismo estudio (Pommel; Camps, 2001; Mahera *et al.*, 2009). Pommel y Camps (2001) informaron la mayor filtración para la técnica de un solo cono, mientras que no hubo diferencias significativas entre la condensación lateral y las técnicas de gutapercha caliente. Por el contrario, la filtración apical de la técnica de condensación lateral fría y la técnicas de obturación de un solo cono fueron comparados, y no se encontraron diferencias, especialmente cuando los conos estandarizados y de una sola conicidad se usaron con el sistema de instrumentación (Mahera *et al.*, 2009; Kocak, 2012). Mahera *et al.* (2009), sugirieron que solo el cono se puede usar en canales simples y tan eficaces como la condensación lateral y las

técnicas de gutapercha caliente. Además, en un estudio reciente, la gutapercha caliente y la condensación lateral en frío se evaluaron y mostraron los mismos valores de filtración bacteriana (Balto, 2016)

Vizgirda *et al.* (2004) compararon tres métodos de obturación y no encontraron diferencias significativas en la fuga entre el método de compactación lateral y el método de gutapercha termoplastificada. Una evaluación de las fugas asociadas con tres técnicas de obturación radicular en conductos radiculares grandes y extremadamente grandes no mostró diferencias significativas entre la condensación lateral fría y la compactación termoplástica (Mente *et al.*, 2007).

Vizgirda *et al.* (2004) también compararon la calidad del sellado apical mediante obturación lateral y termoplastificada con gutapercha, con la obturación con MTA.

Los resultados sugirieron que gutta-percha puede proporcionar un sellado apical superior al MTA. La técnica elegida para nuestro caso, fue una mezcla de todas ellas, que no está descrita en investigaciones pero comparte muchos de los beneficios de cada una estudiados por separado. Es importante poder usar los recursos que se tienen en la mayoría de los consultorios, y adaptar las técnicas conocidas, manteniendo o mejorando la calidad del tratamiento, según los objetivos que necesitemos cumplir en cada caso.

De todos modos, la gutapercha no proporciona un sellado hermético a los fluidos debido a la falta de enlace químico entre el material, la pared de dentina y el sellador. Aunque hay una variedad de las técnicas de obturación de gutapercha, ninguna de estas puede proporcionar un sellado a prueba de filtraciones (De Bruyne; De Moor, 2009). Los pasos clínicos que conducen al llenado de los conductos radiculares incluyen tres habilidades separadas: conformación del canal, selección y ajuste del material de relleno (cono maestro u obturador), y la inserción y compactación del relleno radicular. La obturación en una sola visita de dientes de ápice abierto con cemento MTA puede ser una alternativa adecuada para la colocación de tapones apicales y la obturación con gutapercha. No requiere equipos especiales y no tiene problemas potenciales asociados con fuerzas laterales en el método de condensación lateral. Sin embargo, no se debe pasar por alto la dificultad de retirar el material de obturación en casos de retratamiento o colocación posterior y también la posible

decoloración (Parirokh; Torabinejad, 2010; Adel *et al.*, 2012) en los dientes anteriores.

El efecto de la edad de los pacientes sobre el resultado de la apexificación es controvertido. Se ha informado que la apexificación está indicada en niños pequeños (Lin *et al.*, 1986) y proporciona resultados más favorables, como se muestra en un estudio en animales (Weinstein; Goldman, 1980). Sin embargo, la apexificación biológica exitosa con Ca (OH)<sub>2</sub> en adultos se ha informado en varios informes de casos (Rotstein *et al.*, 1990; Gutmann; Fava, 1992; Çalışkan; Türkün, 1997), incluso en dientes previamente sometidos a cirugía apical (Çalışkan, 2005). En el caso de nuestro paciente, el elemento traumatizado y necrosado detuvo la formación de su raíz y no fue tratado endodónticamente en el momento en el que sufrió el traumatismo. El tratamiento de apexificación estuvo demorado 9 años, sin embargo, esta evidencia nos indica que, aunque hubiera sido mejor haberlo tratado en el momento, de todas formas podemos esperar un buen resultado en cuanto a la respuesta biológica para la formación de un buen cierre apical. Aunque la evidencia se refiere a tratamientos con hidróxido de calcio, podría ser de la misma forma o incluso mejor en elementos tratados con MTA

Varios estudios han señalado que los EAL dan resultados poco fiables en dientes con ápices abiertos (Huang 1987; Hülsmann; Pieper, 1989). Se ha reportado en la literatura que los EAL pueden dar resultados impredecibles en diversas condiciones como presencia de restauraciones metálicas que conducen a descargas eléctricas cortocircuito, tamaño del agujero apical, tipo y tamaño de la lima de medición, solución de irrigación utilizada y electroconductividad de la pulpa (Herrera *et al.*, 2011) En nuestro caso clínico tuvimos la experiencia de haber obtenido una longitud de trabajo errada, tomada con localizador electrónico, por lo cual confirmamos la necesidad de corroborar la longitud obtenida en elementos con ápices amplios, mediante otros métodos, prestando especial cuidado a este paso.

## **CONCLUSIONES**

Durante la etapa de desarrollo, un ápice abierto puede permanecer como una secuela de la necrosis pulpar después de un traumatismo o caries. También puede crearse iatrogénicamente debido a la sobreinstrumentación o resección radicular.

El tratamiento de estos elementos presenta un importante desafío clínico debido a las paredes dentinarias delgadas resultantes, la falta de cierre apical y la relación coronoradicular desfavorable. El desbridamiento del conducto radicular y la obtención de un sello hermetico apical es dificultoso y es necesario tomar precauciones especiales en varias instancias y detalles del protocolo de trabajo para determinar el éxito del tratamiento y la mejora del pronóstico.

Las estrategias de manejo para el tratamiento estos elementos están cambiando desde el procedimiento de apexificación con hidróxido de calcio o la técnica de barrera apical hacia procedimientos de endodoncia regenerativa.

## BIBLIOGRAFÍA

Abbott PV, Yu C. A clinical classification of the status of the pulp and the root canal system. *Aust Dent J* 2007; 52: S17–31.

Adel M, Moradi Majd N, Shivaie Kojoori S, Norooz Oliaie H, Naghavi N, Asgary S. Comparison of endodontic biomaterials as apical barriers in simulated open apices. *ISRN dentistry*. 2012.

Aggarwal V, Miglani S, Singla M. Conventional apexification and revascularization induced maturogenesis of two non-vital, immature teeth in same patient: 24 months follow up of a case. *J Conserv Dent* 2012; 15: 68–72.

Aguiar BA, R. Reinaldo RS, Frota LM, do Vale MS, and Vasconcelos BC, “Root ZX electronic foramen locator: an ex vivo study of its three models’ precision and reproducibility,” *International Journal of Dentistry*, vol. 2017, Article ID 5893790, 4 pages, 2017.

Ahmad M, Pitt Ford TR, Crum LA. Ultrasonic debridement of root canals: acoustic streaming and its possible role. *J Endod* 1987;13:490e5.

Aksel H, Askerbeyli S, Canbazoglu C, Serper A. Effect of needle insertion depth and apical diameter on irrigant extrusion in simulated immature permanent teeth. *Braz Oral Res*. 2014;28:1–6.

Alhadainy HA, Himel VT, Lee WB, Elbaghdady YM. Use of a hydroxylapatite-based material and calcium sulfate as artificial floors to repair furcal perforations. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 1998;86:723–9.

Al-Kahtani A, Shostad S, Schifferle R, Bhambhani S (2005) In-vitro evaluation of microleakage of an orthograde apical plug of mineral trioxide aggregate in permanent teeth with stimulated immature apices. *Journal of Endodontics* 31, 117–9.

Al-Nesser SF, Bshara NG. Evaluation of the apical extrusion of sodium hypochlorite gel in immature permanent teeth: An in vitro study. *Dent Med Probl*. 2019;56(2):149153.

Alobaid AS, Cortes LM, Lo J *et al.*(2014) Radiographic and clinical outcomes of the treatment of immature permanent teeth by revascularization or apexification: a pilot retrospective cohort study. *Journal of Endodontics* 40, 1063–70.

Al-Rabeah E, Perinpanayagam H, MacFarland D. Human alveolar bone cells interact with ProRoot and tooth-colored MTA. *J Endod* 2006;32:872–5.

Al-Sudani DA, Al Omar HA. Evaluation of sodium hypochlorite (NaOCl) gel as an endodontic irrigant. *J Biomater Tissue Eng*. 2011;1(2):215–218.

Andreasen FM, Kahler B (2015) Pulpal response after acute dental injury in the permanent dentition: clinical implications- a review. *Journal of Endodontics* 41, 299–308.



Andreasen JO, Andreasen FM. Textbook and color atlas of traumatic injuries to the teeth, 3rd edn. Copenhagen: Munksgaard; 1994.

Andreasen JO, Bakland LK. Pulp regeneration after non-infected and infected necrosis, what type of tissue do we want? A review Dent Traumatol. 2012;28:13–8.

Andreasen JO, Farik B, Munksgaard EC. Long term calcium hydroxide as a root canal dressing may increase risk of root fracture. Dent Traumatol 2002;18:134–7.

Andreasen JO, Hjorting-Hansen R. Intra-alveolar root fractures: radiographic and histologic study of 50 cases. J Oral Surg 1967;25:414–26.

Andreasen JO, Munksgaard EC, Bakland LK. Comparison of fracture resistance in root canals of immature sheep teeth after filling with calcium hydroxide or MTA. Dent Traumatol 2006;22:154–6.

Andreasen JO, Ravn JJ. Epidemiology of traumatic dental injuries to primary and permanent teeth in a Danish population sample. Int J Oral Surg 1972;1:235–9.

Annamalai S, Mungara J (2010) Efficacy of mineral trioxide aggregate as an apical plug in non-vital young permanent teeth: preliminary results. Journal of Clinical Pediatric Dentistry 35, 149–55.

American Academy of Pediatric Dentistry. Guideline on pulp therapy for primary and immature permanent teeth. Pediatr Dent 2011; 33 (Reference Manual): 212–9.

American Association of Endodontics AAE (2016) Clinical considerations for a regenerative procedure [Online]. American association of endodontics. Available at: [http://www.aae.org/uploadedfiles/publications\\_and\\_research/research/currentregenerativeendodonticconsiderations.pdf](http://www.aae.org/uploadedfiles/publications_and_research/research/currentregenerativeendodonticconsiderations.pdf). (Accessed 1st Aug 2020)

American Association of Endodontics (AAE) Endodontic Case Difficulty Assessment Form and Guidelines. Available at: [https://www.aae.org/specialty/wpcontent/uploads/sites/2/2017/10/2006casedifficultyassessm entformb\\_edited2010.pdf](https://www.aae.org/specialty/wpcontent/uploads/sites/2/2017/10/2006casedifficultyassessm entformb_edited2010.pdf). (Accessed May 14, 2020)

American Association of Endodontists. Glossary of endodontic terms, 7<sup>th</sup> edn. Chicago: American Association of Endodontists; 2003.

Amir FA, Gutmann JL, Witherspoon DE. Calcific metamorphosis: a challenge in endodontic diagnosis and treatment. Quintessence Int 32: 447-455, 2001.

Asgary S, Akbari Kamrani F, Taheri S. Evaluation of antimicrobial effect of MTA, calcium hydroxide, and CEM cement. Iran Endod J. 2007;2(3):105-9.

Asgary S, Eghbal MJ, Parirokh M, Ghanavati F, Rahimi H. A comparative study of histologic response to different pulp capping materials and a novel endodontic cement. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2008b;106(4):609-14.

Asgary S, Eghbal MJ, Parirokh M. Sealing ability of a novel endodontic cement as a root-end filling material. J Biomed Mater Res A. 2008;87(3):706-9.

Asgary S, Eghbal MJ, Parirokh M, Torabzadeh H. Sealing ability of three commercial mineral trioxide aggregates and an experimental root-end filling material. *Iran Endod J.* 2006;1(3):101-5.

Asgary S, Motazedian HR, Parirokh M, Eghbal MJ, Kheirieh S. Twenty years of research on mineral trioxide aggregate: a scientometric report. *Iran Endod J.* 2013;8(1):1-5.

Asgary S, Shahabi S, Jafarzadeh T, Amini S, Kheirieh S. The properties of a new endodontic material. *J Endod.* 2008c;34(8):990-3.

Baggett FJ, Mackie IC, Worthington HV: An investigation into the measurement of the working length of immature incisor teeth requiring endodontic treatment in children, *Brit Dent J* 181:96, 1996.

Baldasso F, Roletto L, Silva VD, *et al.* Effect of final irrigation protocols on microhardness reduction and erosion of root canal dentine. *Braz Oral Res* 2017;31:1-7.

Balto HA: Obturation techniques allow microbial leakage unless protected. *J Prosthodont* 2016;25:224-228.

Bargholz C. Perforation repair with mineral trioxide aggregate: A modified matrix concept. *Int Endod J.* 2005;38:59–69.

Barkhordar RA; Nguyen NT. Paresthesia of the mental nerve after over extension with AH26 and gutta-percha: report of case. *J. Am. Dent. Assoc.* 110, 202–203 (1985).

Becker, G.L.; Cohen, S.; Borer, R. The sequelae of accidentally injecting sodium hypochlorite beyond the root apex. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.* 1974, 38, 633–638.

Bhasker SN. Orban's oral histology and embryology, 11<sup>th</sup> edn. St. Louis: Mosby-Year Book; 1991.

Bogen G, Kuttler S. Mineral trioxide aggregate obturation: a review and case series. *J Endod.* 2009;35(6):777-90.

Bonte E, Beslot A, Boukpepsi T, Lasfargues JJ (2015) MTA versus Ca(OH)<sub>2</sub> in apexification of non-vital immature permanent teeth: a randomized clinical trial comparison. *Clinical Oral Investigation* 2015;19:1381-1388.

Borum MK, Andreasen JO. Therapeutic and economic implications of traumatic dental injuries in Denmark: an estimate based on 7549 patients treated at a major trauma centre. *Int J Paediatr Dent* 2001; 11: 249–58.

Bosch-Aranda, M.L.; Canalda-Sahli, C.; Figueiredo, R.; Gay-Escoda, C. Complications following an accidental sodium hypochlorite extrusion: A report of two cases. *J. Clin. Exp. Dent.* 2012, 4, 194–198.

Boutsioukis C, Lambrianidis T, Kastrinakis E. Irrigant flow within a prepared root canal using various flow rates: a computational fluid dynamics study. *Int Endod J*. 2009 Feb;42(2):144–55.

Boutsioukis, C.; Lambrianidis, T.; Kastrinakis, E.; Bekiaroglou, P. Measurement of pressure and flow rates during irrigation of a root canal ex vivo with three endodontic needles. *Int. Endod. J*. 2007, 40, 504–513.

Boutsioukis C, Lambrianidis T, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Wesselink PR, *et al*. The effect of needle-insertion depth on the irrigant flow in the root canal: evaluation using an unsteady computational fluid dynamics model. *J Endod*. 2010 Oct;36(10):1664–8.

Boutsioukis C, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Wesselink PR, van der Sluis LWM. Evaluation of irrigant flow in the root canal using different needle types by an unsteady computational fluid dynamics model. *J Endod*. 2010 May;36(5):875–9.

Bowden, J.R.; Ethunandan, M.; Brennan, P.A. Life-threatening airway obstruction secondary to hypochlorite extrusion during root canal treatment. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod*. 2006, 101, 402–404.

Braden M. Heat conduction in normal human teeth. *Arch Oral Biol* 1964; 9: 479–486.

Brito-Junior M, Faria-e-Silva AL, Quintino AC *et al*. (2012) Orthograde retreatment failure with extruded MTA apical plug in a large periradicular lesion followed by surgical intervention: case report. *General Dentistry* 60, e96–100.

Bücher K, Meier F, Diegritz C, Kaaden C, Hickel R, Kühnisch J (2016) Long-term outcome of MTA apexification in teeth with open apices. *Quintessence International* 47, 473–82.

Butt N, Talwar S (2013) In-vitro evaluation of various solvents for retrieval of mineral trioxide aggregate and their effect on microhardness of dentin. *Journal of Conservative Dentistry* 16, 199–202.

Çalışkan MK (2005) Nonsurgical retreatment of teeth with periapical lesions previously managed by either endodontic or surgical intervention. *Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology Endodontics* 100, 242–8.

Çalışkan MK, Türkün M (1997) Periapical repair and apical closure of a pulpless tooth using calcium hydroxide. *Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology Endodontics* 84, 683–7.

Cameron A, Widmer R. *Handbook of Paediatric Dentistry*. London, UK: Mosby; 2008. pp. 194–5.

Camp JH. Diagnosis dilemmas in vital pulp therapy: treatment for the toothache is changing, especially in young, immature teeth. *Pediatr Dent* 2008; 30: 197–205.

Carpenter MT, Sidow SJ, Lindsey KW, Chuang A, McPherson JC III (2014) Regaining apical patency after obturation with gutta-percha and a sealer containing mineral trioxide aggregate. *Journal of Endodontics* 40, 588–90.

Caviedes-Bucheli J, Muoz HR, Azuero-Holgún MM, Ulate E. Neuropeptides in dental pulp: the silent protagonists. *J Endod* 2008; 34: 773–788.

Cehreli Z, Sara S, Uysal S, Turgut MD. MTA apical plugs in the treatment of traumatized immature teeth with large periapical lesions. *Dent Traumatol* 2011; 27: 59–62.

Chala S, Abouqal R, Rida S (2011) Apexification of immature teeth with calcium hydroxide or mineral trioxide aggregate: systematic review and meta-analysis. *Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology Endodontics* 112, e36–42.

Chang SW, Oh TS, Lee W, Cheung GS, Kim HC (2013) Long-term observation of the mineral trioxide aggregate extrusion into the periapical lesion: a case series. *International Journal of Oral Science* 5, 54–7.

Chen MY-H, Chen K-L, Chen C-A, Tayebaty F, Rosenberg P, Lin LM. Responses of immature permanent teeth with infected necrotic pulp tissue and apical periodontitis/abscess to revascularization procedures. *Int Endod J* 2012; 45: 294–305.

Chen X, Bao Z, Liu Y, Lui M, Jin X, Xu X. Regenerative endodontic treatment of an immature permanent tooth at an early stage of root development: a case report. *J Endod* 2013; 39: 719–22.

Chng HK, Islam I, Yap AU, Tong YW, Koh ET. Properties of a new root-end filling material. *J Endod.* 2005;31(9):665-8.

Comin Chiaramonti L, Cavalleri G (2011) Effect of unintentionally extruded mineral trioxide aggregate in treatment of root perforation with periradicular lesion: a case report. *Minerva Stomatologica* 60, 217–22.

Cunningham KP, Walker MP, Kulild JC, Lask JT. Variability of the diameter and taper of size #30, 0.04 gutta-percha cones. *J Endod* 2010;32:1081-1084.

Cvek M: Prognosis of luxated non-vital maxillary incisors treated with calcium hydroxide and filled with guttapercha. A retrospective clinical study, *Endod Dent Traumatol* 8:45,1992.

Damle SG, Bhattal H, Damle D, Dhindsa A, Loomba A, Singla S (2016) Clinical and radiographic assessment of mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide as apexification agents in traumatized young permanent anterior teeth: a comparative study. *Dental Research Journal (Isfahan)* 13, 284–91.

Damle SG, Bhattal H, Loomba A (2012) Apexification of anterior teeth: a comparative evaluation of mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide paste. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry* 36, 263–8.

De Bruyne MA, De Moor RJ: Long-term sealing ability of Resilon apical root-end fillings. *Int Endod J* 2009;42:884-892.

do Couto AM, Espaladori MC, Leite APP, Martins CC, de Aguiar MCF, Abreu LG. A systematic review of pulp revascularization using a triple antibiotic paste. *Pediatr Dent.* 2019;41:341–53.

Donnermeyer D, Wyrsh H, Burklein S, Schäfer E. Removal of calcium hydroxide of artificial grooves in straight root canals: sonic activation using EDDY versus passive ultrasonic irrigation and XP endo Finisher. *J Endod* 2019;45:322–6.

dos Reis S; Moraes Cruz V; Hungaro Duarte MA; da Silveira Bueno CE; Ricci Vivian R; Pelegri RA; Kely Firmino B; Shoji Kato A (2020). Volumetric Analysis of Irrigant Extrusion in Immature Teeth after Different Final Agitation Techniques. *Journal of Endodontics*, S0099239920300406–.

Economides N, Pantelidou O, Kokkas A, Tzifaas D (2003) Short-term periradicular tissue response to mineral trioxide aggregate (MTA) as root-end filling material. *International Endodontic Journal* 36, 44–8.

Eldeniz AU, Hadımlı HH, Ataoglu H, Ørstavik D (2006) Antibacterial effect of selected root-end filling material. *Journal of Endodontics* 32, 345–9.

Fabricius L, Dahlén G, Sundqvist G, Happonen RP, Möller AJ. Influence of residual bacteria on periapical tissue healing after chemomechanical treatment and root filling of experimentally infected monkey teeth. *Eur J Oral Sci* 2006;114:278-285.

Farman AG, “ALARA still applies,” *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics*, vol. 100, no. 4, pp. 395–397, 2005.

Felippe WT, Felipe MCS, Rocha MJC (2006) The effect of mineral trioxide aggregate on the apexification and periapical healing of teeth with incomplete root formation. *International Endodontic Journal* 39, 2–9.

Flanagan TA. What can cause the pulps of immature, permanent teeth with open apices to become necrotic and what treatment options are available for these teeth. *Aust Endod J* 2014; 40: 95–100

Fouad AF. The microbial challenge to pulp regeneration. *Adv Dent Res*. 2011;23(3):285-289.

Friend LA. The root treatment of teeth with open apices. *Proc R Soc Med* 1966;19:1035–6.

Friend LA. Treatment of immature teeth and non-vital pulps. *J Br Endod Soc* 1967;1:28–33.

Fristad, I., Molven, O. & Halse, A. Nonsurgically retreated root filled teeth—radiographic findings after 20–27 years. *Int. Endod. J.* 37, 12–18 (2004).

Gaitonde P, Bishop K. Apexification with mineral trioxide aggregate: an overview of the material and technique. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 2007; 15: 41–5.

Galler KM, Krastl G, Simon S, van Gorp G, Meschi N, Vahedi B, Lambrechts P. European society of endodontology position statement: revitalization procedures. *Int Endod J.* 2016;49:717–23.

Garcia-Godoy F, Murray PE. Recommendations for using regenerative endodontic procedures in permanent immature traumatized teeth. *Dent Traumatol* 2012; 28: 33–41.

Gesi, A., Hakeberg, M., Warfvinge, J. & Bergenholtz, G. Incidence of periapical lesions and clinical symptoms after pulpectomy—a clinical and radiographic evaluation of 1- versus 2-session treatment. *Oral. Surg. Oral. Med. Oral. Pathol. Oral. Radiol. Endod.* 101, 379–388 (2006).

Gillen BM, Looney SW, Gu LS, *et al.* Impact of the quality of coronal restoration versus the quality of root canal fillings on success of root canal treatment: a systematic review and meta-analysis. *J Endod* 37: 895-902, 2011.

Giovarruscio M, Uccioli U, Malentacca A, Koller G, Foschi F, Mannocci F. A technique for placement of apical MTA plugs using modified Thermafil carriers for the filling of canals with wide apices. *Int Endod J.* 2013;46(1):88-97.

Glassman G. Mineral trioxide aggregate revisited: a cement for all seasons. *Roots* 1: 6-9, 2014.

Gluskin, A. H. Anatomy of an overfill: a reflection on the process. *Endod. Top.* 16, 64–81 (2007).

Goldberg F, Kaplan A, Roitman M, Monfre S, Picca M. Efecto reforzante de un ionómero de vidrio de resina en la restauración de raíces inmaduras in vitro. *Dent Traumatol* 2002;18:70–2.

Gordon MPJ; Chandler NP, “Electronic apex locators,” *International Endodontic Journal*, vol. 37, no. 7, pp. 425–437, 2004.

Guelmann M, Brookmyer KL, Villalta P, Garcia-Godoy F: Microleakage of restorative techniques for pulpotomised primary molars, *ASDC J Dent Child* 71:209, 2004.

Guivarc’h M, Ordioni U, Ahmed HM, Cohen S, Catherine JH, Bukiet F. Sodium hypochlorite accident: A systematic review. *J Endod.* 2017;43(1):16–24.

Gu L, Kim JR, Ling J, Choi KK, Pashley DH, Tay FR. Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *J Endod.* 2009 Jun;35(6):791–804.

Gutmann, JL. Apical termination of root canal procedures—ambiguity or disambiguation? *Evid. Based Endod.* 1, 4 (2016).

Gutmann JL, Fava LR (1992) Periradicular healing and apical closure of a non-vital tooth in presence of bacterial contamination. *International Endodontic Journal* 25, 307– 11.

Güven G, Cehreli ZC, Ural A, Serdar MA, Basak F. Effect of mineral trioxide aggregate cements on transforming growth factor beta1 and bone morphogenetic protein production by human fibroblasts in vitro. *J Endod* 2007;33:447–50.

Hameed MH, Gul M, Ghafoor R, Badar SB. Management of immature necrotic permanent teeth with regenerative endodontic procedures, a review of literature. *J Pak Med Assoc.* 2019;69:1514–20.

Hargreaves KM, Diogenes A, Teixeira FB. Treatment options: biological basis of regenerative endodontic procedures. *J Endod* 2013; 39: S30–43.

Hargreaves KM, Giesler T, Henry M, Wang Y. Regeneration potential of the young permanent tooth: what does the future hold? *Pediatr Dent* 2008; 30: 253–60.

Hernandez R, Bader S, Boston D, Trope M. Resistance to fracture of endodontically treated premolars restored with new generation dentin bonding systems. *Int Endod J* 1994;27:281–4.

Herrera M, Abalos C, Lucena C, Jimenez-Planas A, Llamas R, “Critical diameter of apical foramen and of file size using the Root ZX apex locator: an in vitro study,” *Journal of Endodontia*, vol. 37, no. 9, pp. 1306–1309, 2011.

Holden DT, Schwartz SA, Kirkpatrick TC, Schindler WG (2008) Clinical outcomes of artificial root-end barriers with mineral trioxide aggregate in teeth with immature apices. *Journal of Endodontics* 34, 812–7.

Holland GR, Trowbridge HO, Rafter M. Protecting the pulp, preserving the apex. In: Torabinejad M, Walton RE, eds. *Endodontics, Principles and Practice*, 4<sup>th</sup> edn. Philadelphia: Saunders, 2009: 29–34.

Huang G. A paradigm shift in endodontic management of immature teeth: conservation of stem cells for regeneration. *J Dent* 2008; 36: 379–86.

Huang G. Apexification: the beginning of its end. *Int Endod J* 2009; 42: 855–66.

Huang GTJ, Sonoyama W, Liu Y, Liu H, Wang S, Shi S. The hidden treasure in apical papilla: the potential role in pulp/dentin regeneration and bioroot engineering. *J Endod* 2008;34: 645e51.

Huang L, “An experimental study of the principle of electronic root canal measurement,” *Journal of Endodontia*, vol. 13, no. 2, pp. 60–64, 1987.

Hülsmann, M.; Hahn, W. Complications during root canal irrigation—literature review and case reports. *Int. Endod. J.* 2000, 33, 186–193.

Hülsmann M; Pieper K, “Use of an electronic apex locator in the treatment of teeth with incomplete root formation,” *Endodontics & Dental Traumatology*, vol. 5, no. 5, pp. 238– 241, 1989.

Hutcheson C, Seale NS, McWhorter A, Kerins C, Wright J (2012) Multi-surface composite vs stainless steel crown restorations after mineral trioxide aggregatepulpotomy: a randomized controlled trial. *Pediatric Dentistry* 34, 460–7

Ingle JI. *Endodontics*. Philadelphia: Lea and Febiger; 1965:504.

Iqbal MK, Kim S. For teeth requiring endodontic treatment, what are the differences in outcomes of restored endodontically treated teeth compared to implant-supported restorations? *Int J Oral Maxillofac Implants* 2007: 22 Suppl: 96–116.

Jaju PP; Jaju SP, “Cone-beam computed tomography: time to move from ALARA to ALADA,” *Imaging Science in Dentistry*, vol. 45, no. 4, pp. 263–265, 2015.

- Jeeruphan T, Jantararat J, Yanpiset K *et al.* Comparison of radiographic and survival outcomes of immature teeth treated with either regenerative endodontic or apexification methods – a retrospective study. *J Endod* 2012; 38: 1330–6.
- Jeger FB, Janner SF, Bornstein MM, Lussi A, “Endodontic working length measurement with preexisting cone-beam computed tomography scanning: a prospective, controlled clinical study,” *Journal of Endodontia*, vol. 38, no. 7, pp. 884–888, 2012.
- Jyothi M. Management of immature teeth – a paradigm shift from apexification to apexogenesis. *Ann Essences Dent* 2012; 3: 34–8.
- Kakoli P, Nandakumar R, Romberg E, *et al.* The effect of age on bacterial penetration of radicular dentin. *J Endod* 2009;35:78–81.
- Katebzadeh N, Dalton BC, Trope M: Strengthening immature teeth during and after apexification, *J Endod* 24:256, 1998.
- Keskin C, Saruyilmaz E, Sariyilmaz O. Efficacy of XP-endo Finisher file in removing calcium hydroxide from simulated internal resorption cavity. *J. Endod* 2017;43:126-30.
- Khongkhunthian, P. & Reichart, P. A. Aspergillosis of the maxillary sinus as a complication of overfilling root canal material into the sinus: report of two cases. *J Endod.* 27, 476–478 (2001)
- Kim H, Kim E, Lee SJ, Shin SJ (2015) Comparisons of the retreatment efficacy of calcium silicate and epoxy resin based sealers and residual sealer in dentinal tubules. *Journal of Endodontics* 41, 2025–30.
- Kim SG, Malek M, Sigurdsson A, Lin LM, Kahler B (2018) Regenerative endodontics: a comprehensive review. *International Endodontic Journal* 51, 1367–88.
- Kim YJA, Chandler NP. Determination of working length for teeth with wide or immature apices: a review. *Int Endod J.* 2013 Jun; 46(6):483–91.
- Kleier DJ, Averbach RE, Mehdipour O. The sodium hypochlorite accident: Experience of diplomates of the American Board of Endodontics. *J Endod.* 2008;34(11):1346–1350.
- Klein H. Pulp response to an electric pulp stimulator in the developing permanent anterior dentition. *J Dent Child* 1978;45:23–5.
- Koh ET, Torabinejad M, Pitt Ford TR, Brady K, McDonald F. Mineral trioxide aggregate stimulates a biological response in human osteoblasts. *J Biomed Mater Res* 1997;37:432–9.
- Kontakiotis EG, Filippatos CG, Agrafioti A. Levels of evidence for the outcome of regenerative endodontic therapy. *J Endod* 40: 1045-1053, 2014.
- Kontakiotis EG, Filippatos CG, Tzanetakakis GN, Agrafioti A (2015) Regenerative endodontic therapy: a data analysis of clinical protocols. *Journal of Endodontics* 41, 146–54.



Krastl G, Allgayer N, Lenherr P, Filippi A, Taneja P, Weiger R (2013) Tooth discoloration induced by endodontic materials: a literature review. *Dental Traumatology* 29, 2–7.

Kumar R, Patil S, Hoshing U, Medha A, Mahaparale R. MTA apical plug and clinical application of anatomic post and core for coronal restoration: A case report. *Iran Endod J.* 2011;6(2):90-4.

Langeland K. Management of the inflamed pulp associated with deep carious lesion. *J Endod* 1981; 7: 169–181.

Langeland K. Pulp histology and physiology. In *Pathways of the Pulp* (eds. Cohen, S., Burns, R. C.) 203–290 (CV Mosby, St Louis, USA, 1976)

Lauridsen E, Hermann NV, Gerds TA, *et al.* Pattern of traumatic dental injuries in the permanent dentition among children, adolescents, and adults. *Dent Traumatol* 28: 358-363, 2012.

Lawley GR, Schindler WG, Walker WA, Kolodrubertz D. Evaluation of ultrasonically placed MTA and fracture resistance intracanal composite resin in a model of apexification. *J Endod* 2004; 30: 167–72.

Lengheden A, Blomlöf L, Lindskog S. Effect of delayed calcium hydroxide treatment on periodontal healing in contaminated replanted teeth. *Scand J Dent Res* 1991; 99: 147–153.

Lin JC, Lu JX, Zeng Q, Zhao W, Li WQ, Ling JQ (2016) Comparison of mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide for apexification of immature permanent teeth: a systematic review and meta-analysis. *Journal of the Formosan Medical Association* 115, 523–30.

Lin J, Zeng Q, Wei X, *et al.* (2017) Regenerative endodontics versus apexification in immature permanent teeth with apical periodontitis: a prospective randomized controlled study. *Journal of Endodontics* 43, 1821–7.

Lin LM, Chance K, Skribner J (1986) Calcium hydroxide in endodontic therapy. *Compendium of Continuing Education in Dentistry* 7, 126–30.

Lin LM, Kahler B. A review of regenerative endodontics: current protocols and future directions. *J Istanbul Univ Fac Dent.* 2017;51:S41–51.

Lo Giudice, R.; Nicita, F.; Puleio, F.; Alibrandi, A.; Cervino, G.; Lizio, A.S.; Pantaleo, G. Accuracy of periapical radiography and CBCT in endodontic evaluation. *Int. J. Dent.* 2018, 16, 2514243.

Lovelace TW, Henry MA, Hargreaves KM, Diogenes A. Evaluation of the delivery of mesenchymal stem cells into the root canal space of necrotic immature teeth after clinical regenerative endodontic procedure. *J Endod* 2011; 37: 133–8.

Lvovsky A *et al.* Relationship between root apices and the mandibular canal: a cone-beam computed tomographic comparison of 3 populations. *J. Endod.* 44, 555–558 (2018).

- Mahera F, Economides N, Gogos C, *et al*: Fluid-transport evaluation of lateral condensation, ProTaper gutta-percha and warm vertical condensation obturation techniques. *Aust Endod J* 2009;35:169-173
- Martin DE, De Almeida JFA, Henry MA, Khaing ZZ, Schmidt CE, Teixeira FB, *et al*. Concentration-dependent effect of sodium hypochlorite on stem cells of apical papilla survival and differentiation. *J Endod*. 2014 Jan;40(1):51–5.
- Martin H. Ultrasonic disinfection of the root canal. *Oral Surg* 1976;42:92e9.
- Mathew ST. Risks and management of sodium hypochlorite in endodontics. *J Oral Hyg Heal*. 2015;3(3):3–7.
- McCabe PS, Dummer PMH. Pulp canal obliteration: an endodontic diagnosis and treatment challenge. *Int Endod J* 45: 177-197, 2012.
- McTigue D, Sumbramanian K, Kumar A. Management of immature permanent teeth with pulpal necrosis: a case series. *Pediatr Dent* 2013; 35: 55–60.
- Mendoza AM, Reina ES, Garcia-Godoy F. Evolution of apical formation on immature necrotic permanent teeth. *Am J Dent* 2010; 23: 269–74.
- Mente J, Hage N, Pfefferle T *et al*. (2009) Mineral trioxide aggregate apical plugs in teeth with open apical foramina: retrospective analysis of treatment outcome. *Journal of Endodontics* 35, 1354–8.
- Mente J, Leo M, Panagidis D *et al*. (2013) Treatment outcome of mineral trioxide aggregate in open apex teeth. *Journal of Endodontics* 39, 20–6.
- Mente J, Werner S, Koch MJ, Henschel V, Legner M, Staehle HJ, Friedman S. In vitro leakage associated with three root-filling techniques in large and extremely large root canals. *J Endod*. 2007;33(3):306-9.
- Mitchell PJ, Pitt Ford TR, Torabinejad M, McDonald F (1999) Osteoblast biocompatibility of mineral trioxide aggregate. *Biomaterials* 20, 167–73.
- Mohammadi Z. Sodium hypochlorite in endodontics: An update review. *Int Dent J*. 2008;58(6):329–341.
- Mohammadi Z. Strategies to manage permanent non vital teeth with open apices: a clinical update. *Int Dent J* 2011; 61: 25–30.
- Moore A, Howley MF, O’Connell AC (2011) Treatment of open apex teeth using two types of white mineral trioxide aggregate after initial dressing with calcium hydroxide in children. *Dental Traumatology* 27, 166–73.
- Moradi S, Disfani R, Ghazvini K, Lomee M. Sealing Ability of Orthograde MTA and CEM Cement in Apically Resected Roots Using Bacterial Leakage Method. *Iran Endod J*. 2013;8(3):109-13.

Nagmode PS, Satpute AB, Patel AV, Ladhe PL (2016) The effect of mineral trioxide aggregate on the periapical tissues after unintentional extrusion beyond the apical foramen. *Case Reports in Dentistry* 2016, 3590680.

Nagy MM, Tawfik HE, Hashem AA, Abu-Seida AM. Regenerative potential of immature permanent teeth with necrotic pulps after different regenerative protocols. *J Endod* 2014;40:192-198.

Nair PNR. Endodontic biofilm, technology and pulpal regenerative therapy: where do we go from here?. *Int Endod J* 47: 1003-1011, 2014.

Nandini S, Natanasabapathy V, Shivanna S (2010) Effect of various chemicals as solvents on the dissolution of set white mineral trioxide aggregate: an in vitro study. *Journal of Endodontics* 36, 135–8.

Namsøy E, Serefoglu B, Hülsmann M, Çalışkan MK. Influence of various application systems on the amount of extruded irrigant in simulated immature teeth with regard to gravity: An ex-vivo study. *Niger J Clin Pract* 2022;25:1831-7.

Narang I, Mittal N, Mishra N (2015) A comparative evaluation of the blood clot, platelet-rich plasma, and platelet-rich fibrin in regeneration of necrotic immature permanent teeth: a clinical study. *Contemporary Clinical Dentistry* 6, 63–8.

Nazzal H, Rajan S, Karagianni AP, Duggal MS. Regenerative endodontische technik unter verwendung einer kombination aus amoxicillin und metronidazol. *Literaturübersicht und zwei Fallberichte Quintessenz*. 2013;64:327–37.

Neelakantan P, Grotra D, Sharma S (2013) Retreatability of 2 mineral trioxide aggregate-based root canal sealers: a cone-beam computed tomography analysis. *Journal of Endodontics* 39, 893–6.

Nejad Shamsi P, Atash Biz Yeganeh L, Vadiati Saberi B, Forghan Parast K, Taghavi Kashan A. Antibacterial effect of sodium hypochlorite gel and solution on *Enterococcus faecalis*. *3DJ*. 2017;6(1):27–30.

Ng YL, Mann V, Rahbaran S, Lewsey J, and Gulabivala K, “Outcome of primary root canal treatment: systematic review of the literature – part 2. Influence of clinical factors,” *International Endodontic Journal*, vol. 41, no. 1, pp. 6–31, 2008.

Nicoloso GF, Pötter IG, Rocha RO, Montagner F, Casagrande L (2017) A comparative evaluation of endodontic treatments for immature necrotic permanent teeth based on clinical and radiographic outcomes: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Paediatric Dentistry* 27, 217–27.

Nosrat A, Homayounfar N, Oloomi K. Drawbacks and unfavourable outcomes of regenerative endodontic treatments of necrotic immature teeth: a literature review and report of a case. *J Endod* 2012; 38: 1428–34.

Nosrat A, Li KL, Vir K, *et al.* Is pulp regeneration necessary for root maturation?. *J Endod* 39: 1291-1295, 2013.

- Nosrat A, Nekoofar MH, Bolhari B, Dummer PM (2012b) Unintentional extrusion of mineral trioxide aggregate: a report of three cases. *International Endodontic Journal* 45, 1165–76.
- Nygaard-Östby B. The role of blood clot in endodontic therapy. *Acta Odontol Scand* 1961; 19: 323–46.
- Oviir T, Pagoria D, Ibarra G, Geurtsen W. Effects of gray and white mineral trioxide aggregate on the proliferation of oral keratinocytes and cementoblasts. *J Endod* 2006;32:210–3
- Pace R, Giuliani V, Nieri M, Di Nasso L, Pagavino G (2014) Mineral trioxide aggregate as apical plug in teeth with necrotic pulp and immature apices: a 10-year case series. *Journal of Endodontics* 40, 1250–4.
- Pannkuk TF (2011) A new technique for nonsurgical retreatment of teeth with amalgam root end fillings: case series. *Journal of Endodontics* 37, 414–9.
- Parirokh M, Mirsoltani B, Raoof M, Tabrizchi H, Haghdoost AA. Comparative study of subcutaneous tissue responses to a novel root-end filling material and white and grey mineral trioxide aggregate. *Int Endod J.* 2011;44(4):283-9.
- Parirokh M, Torabinejad M (2010b) Mineral trioxide aggregate, a comprehensive literature review—part III, clinical applications, drawbacks, and mechanism of action. *Journal of Endodontics* 36, 400–13.
- Parirokh M, Torabinejad M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review-- Part I: chemical, physical, and antibacterial properties. *J Endod.* 2010;36(1):16-27.
- Peeters H.H., Suardita K., Mooduto L., Gutknecht N. Extrusion of irrigant in open apex teeth with periapical lesions following laser-activated irrigation and passive ultrasonic irrigation. *Iran. Endod. J.* 2018;13:169–175.
- Pelka, M.A.; Petschelt, A. Permanent mimic musculature and nerve damage caused by sodium hypochlorite: A case report. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.* 2008, 106, e80–e83.
- Peng L, Ye L, Tan H, *et al.*: Outcome of root canal obturation by warm guttapercha versus cold lateral condensation: a meta-analysis. *J Endod* 2007;33:106- 109.
- Peters OA, Boessler C, Paqué F. Root canal preparation with a novel nickel-titanium instrument evaluated with micro-computed tomography: canal surface preparation over time. *J Endod* 2010b;36:1068-1072.
- Pindborg JJ. Clinical, radiographic and histologic aspects of intra-alveolar fractures of upper central incisors. *Acta Odontol Scand* 1956;13:41–7.
- Pommel L, Camps J: In vitro apical leakage of system B compared with other filling techniques. *J Endod* 2001;27:449-451.

Pusinanti L, Rubini R, Pellati A, *et al.*: A simplified post preparation technique after Thermafil obturation: evaluation of apical microleakage and presence of voids using methylene blue dye penetration. *Ann Stomatol (Roma)* 2013;4:184- 190.

Psimma, Z.; Boutsoukis, C.; Kastrinakis, E.; Vasiliadis, L. Effect of needle insertion depth and root canal curvature on irrigant extrusion *ex vivo*. *J. Endod.* 2013, 39, 521-524.

Rafter M. Apexification: a review. *Dent Traumatol* 2005; 21: 1–8. Blackwell Munksgaard, 2005.

Rahimi S, Janani M, Lotfi M, *et al.* A review of antibacterial agents in endodontic treatment. *Iran Endod J.* 2014;9(3):161–168.

Refaei P, Jahromi MZ, Moughari AAK. Comparison of the microleakage of mineral trioxide aggregate, calcium-enriched mixture cement, and Biodentine orthograde apical plug. *Dent Res J (Isfahan)* 2020;17:66-72.

Richman MJ. The use of ultrasonics in root canal therapy and root resection. *J Dent Med* 1957;12:12e8.

Ricucci D; Langeland K, “Apical limit of root canal instrumentation and obturation. Part 2. A histological study,” *International Endodontic Journal*, vol. 31, no. 6, pp. 394–409, 1998.

Romania C, Beltes P, Boutsoukis C, *et al.*: Ex-vivo area-metric analysis of root canal obturation using gutta-percha cones of different taper. *Int Endod J* 2009;42:491-498.

Rosenberg B, Murray PE, Namerown K. The effect of calcium hydroxide root filling on dentin fracture strength. *Dental Traumatol* 2007;23:26–9.

Rotstein I, Friedman S, Katz J (1990) Apical closure of mature molar roots with the use of calcium hydroxide. *Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology* 70, 656–60.

Sabala, C.L.; Powell, S.E. Sodium hypochlorite injection into periapical tissues. *J. Endod.* 1989, 15, 490–492.

Sabins RA, Johnson JD, Hellstein JW. A comparison of the cleaning efficacy of short term sonic and ultrasonic passive irrigation after hand instrumentation in molar root canals. *J Endod* 2003;29:674–8.

Saghiri MA, Garcia-Godoy F, Gutmann JL *et al.* (2013) Removal of white mineral trioxide aggregate cement: a promising approach. *BioMed Research International* 2013, 469164.

Sahebi S, Moazami F, Sadat Shojaee N, Layeghneghad M. Comparison of MTA and CEM Cement Microleakage in Repairing Furcal Perforation, an In Vitro Study. *J Dent (Shiraz)*. 2013;14(1):31-6.

Saoud TMA, Zaazou A, Nabil A, *et al.* (2014) Clinical and radiographic outcomes of traumatized immature permanent necrotic teeth after revascularization/revitalization therapy. *Journal of Endodontics* 40, 1946–52.

Sarris S, Tahmassebi JF, Duggal MS, Cross IA (2008) A clinical evaluation of mineral trioxide aggregate for root-end closure of non-vital immature permanent incisors in children: a pilot study. *Dental Traumatology* 24, 79–85.

Schäfer E, Nelius B, Bürklein S: A comparative evaluation of gutta-percha filled areas in curved root canals obturated with different techniques. *Clin Oral Investig* 2012;16:225-230.

Shabahang S. Treatment options: apexogenesis and apexification. *Pediatr Dent* 2013; 35: 125–8.

Sharma R, Kumar V, Logani A, Chawla A, Sharma S, Koli B. Effect of Gravity on Periapical Extrusion of Irrigating Solution With Different Irrigation Protocols in Immature Anterior Teeth. *Eur Endod J* 2020; 2: 150-4

Shen, Y.; Gao, Y.; Qian, W.; Ruse, N.D.; Zhou, X.; Wu, H.; Haapasalo, M. Three-dimensional numeric simulation of root canal irrigant flow with different irrigation needles. *J. Endod.* 2010, 36, 884–889.

Shin SY, Albert JS, Mortman RE. One step pulp revascularisation treatment of an immature permanent tooth with chronic apical abscess: a case report. *Int Endod J* 2009; 42: 1118–26.

Silujjai J, Linsuwanont P (2017) Treatment outcomes of apexification or revascularization in nonvital immature permanent teeth: a retrospective study. *Journal of Endodontics* 43, 238–45.

Simon S, Rilliard F, Berdal A, Machtou P (2007) The use of mineral trioxide aggregate in one-visit apexification treatment: a prospective study. *International Endodontic Journal* 40, 186–97.

Siqueira, J. F. J. Microbial causes of endodontic flare-ups. *Int. Endod. J.* 36, 453–463 (2003).

Sjogren U, Hagglund B, Sundqvist G, and Wing K, “Factors affecting the long-term results of endodontic treatment,” *Journal of Endodontia*, vol. 16, no. 10, pp. 498–504, 1990.

Smith RS, Weller RN, Loushine RJ, *et al*: Effect of varying the depth of heat application on the adaptability of gutta-percha during warm vertical compaction. *J Endod* 2000;26:668- 672.

Souza EM, Wu MK, LW van der Sluis, Leonardo RT, Bonetti-Filho I, Wesselink PR. Effect of filling technique and root canal area on the percentage of gutta-percha in laterally compacted root fillings. *Int Endod J* 2009; 42: 719-26.

Spångberg L, Engström B, Langeland K. Biological effect of dental materials. 3. Toxicity and antimicrobial effects of endodontic antiseptics in vitro. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1973; 36: 856–871.

Spierings TA, Peters MC, Bosman F, Plasschaert AJ. Verification of theoretical modeling of heat transmission in teeth by in vitro experiments. *J Dent Res* 1987; 66: 1336–1339.

Steiner J, Dow P, and Cathey G, “Inducing root end closure of non-vital permanent teeth,” *Journal of Dentistry for Children*, vol. 35, no.1, pp.47–54, 1968.

Stewart DJ. Root canal therapy in incisor teeth with open apices. *Br Dent J* 1963;114:249–54.

Sundqvist, G. Associations between microbial species in dental root canal infections. *J. Oral Microbiol.* 7, 257–262 (1992).

Swati Srivastava , Hanan M. Alharbi, Mai Soliman, Elzahraa Eldwakhly, and Manal M. Abdelhafeez.(2022) Influence of Open Apex on Working Length Determination Using Cone-Beam Computed Tomography and Apex Locators: A Comparative In Vitro Study. *BioMed Research International* Volume 2022, 3811983-6

Tabrizzade M, Asadi Y, Sooratgar A, Moradi S, Sooratgar H, Ayatollahi F. Sealing Ability of Mineral Trioxide Aggregate and Calcium Enriched Mixture Cement as Apical Barriers with Different Obturation Techniques . *Iran Endod J.*2014;9(4):261-5.

Tahan E, Celik D, Er K, Tasdemir T (2010) Effect of unintentionally extruded mineral trioxide aggregate in treatment of tooth with periradicular lesion: a case report. *Journal of Endodontics* 36, 760–3.

Tanalp J, Güngör T. Apical extrusion of debris: a literature review of an inherent occurrence during root canal treatment. *Int Endod J.* 2014 Mar;47(3):211–21.

Tezel B, Uysal S, Turgut MD, Cehreli ZC (2010) Inadvertent MTA extrusion in an immature traumatized permanent incisor. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry* 35, 145–8.

Thomson A, Kahler B. Regenerative endodontics – biologically-based treatment for immature permanent teeth: a case report and review of the literature. *Aust Dent J* 2010; 55: 446–52.

Tong HJ, Rajan S, Bhujel N, Kang J, Duggal M, Nazzal H. Regenerative endodontic therapy in the management of nonvital immature permanent teeth: a systematic review—outcome evaluation and meta-analysis. *Journal of Endodontics.* 2017;43:1453–64.

Tomson PL, Grover LM, Lumley PJ, Sloan AJ, Smith AJ, Cooper PR (2007) Dissolution of bio-active dentine matrix components by mineral trioxide aggregate. *Journal of Dentistry* 35, 636–42.

Torabinejad M, Faras H. A clinical and histological report of a tooth with an open apex treated with regenerative endodontics using platelet-rich plasma. *J Endod* 38: 864-868, 2012.

Torabinejad M, Nosrat A, Udochukwu O (2017) Regenerative endodontic treatment or mineral trioxide aggregate apical plug in teeth with necrotic pulps and open apices: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Endodontics* <https://doi.org/10.1016/j.joen.2017.05.011>.

Torabinejad M, Parirokh M, Dummer PMH. Mineral trioxide aggregate and other bioactive endodontic cements: an updated overview – part I: vital pulp therapy. *International Endodontic Journal*, 51, 177–205, 2018.

Torabinejad M, Parirokh M, Dummer PMH. Mineral trioxide aggregate and other bioactive endodontic cements: an updated overview – part II: other clinical applications and complications. *International Endodontic Journal*, 51, 284–317, 2018b.

Torabinejad M, Rastegar A, Kettering J, Pitt Ford T (1995) Bacterial leakage of mineral trioxide aggregate as a root end material. *Journal of Endodontics* 21, 109–12.

Trope M. Treatment of the immature tooth with a non-vital pulp and apical periodontitis. *Dent Clin North Am.* 2010 Apr;54(2):313–24

Tselnik M, Baumgartner J, Marshall J. Bacterial leakage with mineral trioxide aggregate or a resin-modified glass ionomer used as a coronal barrier. *J Endod* 2004; 30: 782–4.

Tuloglu N, Bayrak S (2016) Comparative evaluation of mineral trioxide aggregate and bioaggregate as apical barrier material in traumatized nonvital, immature teeth: a clinical pilot study. *Nigerian Journal of Clinical Practice* 19, 52–7.

Uzunoglu E, Yilmaz Z, Sungur DD, Altundasar E (2015) Retreatability of root canals obturated using gutta-percha with bioceramic, MTA and resin-based sealers. *Iranian Endodontic Journal* 10, 93–8.

Velmurugan N, Sooriaprakas C, Jain P. Apical extrusion of irrigants in immature permanent teeth by using EndoVac and needle irrigation: An in vitro study. *J Dent (Tehran).* 2014 Jul;11(4):433-9. Epub 2014 Jul 31.

Vizgirda PJ, Liewehr FR, Patton WR, McPherson JC, Buxton TB. A comparison of laterally condensed gutta-percha, thermoplasticized gutta-percha, and mineral trioxide aggregate as root canal filling materials. *J Endod.* 2004;30(2):103-6.

Walmsley AD. Ultrasound and root canal treatment: the need for scientific evaluation. *Int Endod J* 1987;20:105e11.

Weinstein R, Goldman M (1980) Apical hard-tissue deposition in adult monkeys with use of calcium hydroxide. *Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology* 43, 627–30.

White JD, Lacefield WR, Chavers LS, Eleazer PD. The effect of three commonly used endodontic materials on the strength and hardness of root dentin. *J Endod* 2002;28:828–30.

Wigler R, Kaufman AY, Lin S, *et al.* Revascularization: a treatment for permanent teeth with necrotic pulp and incomplete root development. *J Endod* 39: 319-326, 2013.

Witherspoon DE, Small JC, Regan JD, Nunn M (2008) Retrospective analysis of open apex teeth obturated with mineral trioxide aggregate. *Journal of Endodontics* 34, 1171–6.

Wright PP, Walsh LJ. Optimizing antimicrobial agents in endodontics. In: Kumavath RN, ed. *Antimicrobial Agents.* Croatia: InTech; 2017:87–107.

Wu MK, LW van der Sluis, Wesselink PR. A preliminary study of the percentage of gutta-percha-filled area in the apical canal filled with vertically compacted warm gutta-percha. *Int Endod J* 2002;35:527- 535.

Xie Y, Lu F, Hong Y, He J, Lin Y. Revascularisation versus apexification for treatment of immature teeth based on periapical healing and root development: A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Paediatric Dentistry* vol. 22/3-2021



Yadav P, Pruthi PJ, Naval RR, Talwar S, Verma M (2015) Novel use of platelet-rich fibrin matrix and MTA as an apical barrier in the management of a failed revascularization case. *Dental Traumatology* 31, 328–31.

Yeung P, Liewehr FR, Moon PC: A quantitative comparison of the fill density of MTA produced by two placement techniques, *J Endod* 32:456, 2006.

Yildirim C, Aktan AM, Karataslioglu E, Aksoy F, Isman O, Culha E. “Performance of the working length determination using cone beam computed tomography, radiography and electronic apex locator, in comparisons to actual length,” *Iranian Journal of Radiology*, vol. 31, no. 14, 2017.

Yildirim T, Tasdemir T, Orucoglu H: The evaluation of the influence of using MTA in teeth with post indication on the apical sealing ability. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2009;108:471-474.

Yusuf, H. The significance of the presence of foreign material periapically as a cause of failure of root treatment. *Oral. Surg. Oral. Med. Oral. Pathol. Oral. Radiol.* 54, 566–574 (1982)

Zhu, W.-C.; Gyamfi, J.; Niu, L.-N.; Schoeffel, G.J.; Liu, S.-Y.; Santarcangelo, F.; Khan, S.; Tay, K.C.-Y.; Pashley, D.H.; Tay, F.R. Anatomy of sodium hypochlorite accidents involving facial ecchymosis—A review. *J.Dent.* 2013, 41, 935–948.

Žižka R, Buchta T, Voborná I, *et al.* Root maturation in teeth treated by unsuccessful revitalization: 2 case reports. *J Endod*, 42: 724-729, 2016.