

MARC  
626  
R. 17292

T  
M829E  
2015



## EXTRUSIÓN DE MTA EN DIFERENTES TAMAÑOS DE PERFORACIONES RADICULARES SIMULADAS ESTUDIO IN VITRO



Trabajo de Investigación  
Requisito para optar al Título  
de Especialista de Endodoncia

Residente: Dr. Rodrigo Morales Tapia

Directora Del Programa  
Prof. Dra. Alicia Caro Molina  
Docente Guía Prof. Dr. Fernando Bahamondes Ibaceta  
Docente Colaborador Dr. Alejandro Oyarzún Droguet  
Cátedra de Endodoncia

## Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecer a Dios por estar conmigo en todos los desafíos que me he planteado en la vida, a mi padre y mi madre por todo el cariño entregado para formar la persona que he llegado a ser, mis hermanos Paulina y Gabriel por apoyarme en cada nuevo proyecto emprendido, Marcela por entregarme su apoyo y amor incondicional en todo momento, a mis amigos incondicionales Alejandra, Pamela, Carlos y Fabiola por su cariño, amistad y apoyo hasta el día de hoy, a la profesora de Química y Farmacia Silvia Bonilla por su buena voluntad y apoyo en los pasos prácticos de la tesis, a todos los profesores de la cátedra de endodoncia por la gran formación recibida en estos dos años los que se concretan con la presentación de esta tesis; especialmente a los doctores Caro, Bahamondes, Nazar y Martín por ayudar en mi formación personal como profesional como especialista; a un gran amigo el doctor Alejandro Oyarzún por su gran ayuda y guía en el trabajo microscópico y de análisis de las muestras; a Sebastián Espinoza por el apoyo con el análisis estadístico de la tesis; a mis compañeros de especialidad que compartimos dos excelentes años de formación profesional y finalmente a todos ellos y a los que ayudaron directa o indirectamente a lograr la presentación de esta tesis la cual es la culminación de estos dos años de especialidad en endodoncia.

## ÍNDICE

I.	Introducción	1
II.	Marco teórico	2
1.	Perforaciones Radiculares	2
1.1	Causas de las perforaciones	2
1.2	Factores significativos en cuanto al pronóstico del tratamiento	2
1.3	Clasificación de las perforaciones radiculares	3
1.4	Determinación de la presencia de una perforación	4
1.5	Tratamiento de las perforaciones radiculares	5
2.	MTA	5
2.1	MTA propiedades físicas, químicas y mecánicas	5
2.2	Efecto de diferentes métodos de aplicación del MTA	7
2.3	MTA y su aplicación en Perforación	7
2.4	Extrusión involuntaria del MTA	8
2.5	Extrusión de MTA y adaptación marginal a las paredes	9
III.	Objetivos e hipótesis	10
IV.	Materiales y Método	11
1.	Tipo de Estudio	11
2.	Determinación Tamaño Muestral	11
3.	Preparación de los Dientes	13
4.	Procesamiento de Imágenes	17

5.	Recolección de datos	18
5.1	Variables	18
5.1.1.	Definiciones Conceptuales y operacionales	18
V.	Resultados	19
VI.	Discusión	26
VII.	Conclusión	29
VIII.	Bibliografía	30

## 1. Introducción

Las perforaciones radiculares son el resultado de la comunicación del espacio intrarradicular con los tejidos periodontales durante los procedimientos endodónticos. Estas pueden producirse por iatrogenia, reabsorción o caries (1).

Durante mucho tiempo las perforaciones radiculares fueron consideradas como un problema complejo. Ya en el año 1893 se había descrito como una situación de difícil manejo la cual se ha mantenido hasta nuestros días. Es por esto que con el pasar de los años se fueron desarrollando un gran número de materiales y técnicas que buscaban dar solución a dicho problema. Sin embargo, muchos de estos no lograron cumplir con las expectativas esperadas. (2)(3)(4)(5).

En 1993, Seung-jong Lee y Mahmoud Torabinejad desarrollaron un material que sellaba exitosamente perforaciones radiculares denominado agregado de Trióxido Mineral (MTA) (6). El MTA presentaba excelentes propiedades físicas y químicas, tales como biocompatibilidad, adaptación y sellado marginal, resistencia compresiva y extrusiva e insolubilidad (6) (7). Estas propiedades lo convirtieron en un excelente material de sellado por lo cual es ampliamente utilizado en la actualidad.

El sellado de las perforaciones radiculares con MTA presenta una alta tasa de éxito. Sin embargo este va a estar influenciado por factores como tiempo de exposición, la localización y finalmente el tamaño de la perforación (8). Este último es un factor relacionado directamente con el pronóstico y el éxito del tratamiento, siendo descrito por algunos autores como el factor más importante (10) (11). Una perforación radicular clasificada como pequeña (menor a un instrumento endodónticos de calibre 20) tiene un mejor pronóstico que una perforación clasificada como grande (8) (9). No obstante, en la literatura no existe evidencia directa que describa lo que ocurre con la adaptación marginal en una perforación ni su relación con la extrusión involuntaria de MTA.

Considerando estos últimos antecedentes, el objetivo de este estudio es relacionar el diámetro de la perforación y nivel de extrusión de MTA simulando las condiciones clínicas cuando la maniobras se realizan vía ortógrada. Esto permitiría generar un criterio de evaluación de perforaciones según su tamaño, lo que ayudaría a decidir si la intervención es posible por vía ortógrada o por vía quirúrgica.

## 2. Marco teórico

### 2.1. Perforaciones radiculares

La perforación radicular es una comunicación artificial entre el sistema de canal radicular y los tejidos de soporte del diente o la cavidad oral (12).

#### 2.1.1. Causas de las perforaciones

- a. *Iatrogénicas*: producto de fresas rotatorias durante la preparación para el acceso a los canales radiculares, preparación para postes en restauraciones permanentes de dientes tratados endodónticamente.
- b. *No iatrogénicas*: reabsorción radicular, caries (12).

De acuerdo con estudios anteriores entre el 2 y 12% de los dientes tratados endodónticamente presentan perforaciones iatrogénicas. La mayoría de estas perforaciones ocurren en molares inferiores debido a la curvatura y la posición de sus raíces (13).

#### 2.1.2. Factores significativos en cuanto al pronóstico del tratamiento

*Tiempo*: Las perforaciones que se tratan inmediatamente presentan una mejor respuesta que en las que se dilata su tratamiento.

*Tamaño*: Las perforaciones de mayor tamaño no responden tan bien como las pequeñas. Las perforaciones causadas por fresas intraconducto son las que causan mayor cantidad de injurias traumáticas por iatrogenia. Las perforaciones de gran tamaño pueden causar un problema como una continua irritación bacteriana producto de un sellado incompleto del defecto. Las perforaciones pequeñas son más fáciles de reparar y su recuperación es predecible.

*Localización*: Una ubicación cerca de la cresta ósea o de la unión epitelial es crítica porque se puede generar contaminación desde la cavidad bucal a través del surco gingival. Las perforaciones de furca de dientes multiradiculados son críticos

también porque el proceso inflamatorio puede causar una rápida y extensa destrucción del tejido periodontal y llevar a una comunicación permanente con la cavidad oral y así persistir la lesión supurativa. Las perforaciones que están apical a la cresta ósea y a la unión epitelial son consideradas de buen pronóstico cuando se realiza un adecuado tratamiento endodóntico y el conducto principal es accesible (12).

### **2.1.3. Clasificación de las perforaciones radiculares propuesta (Fuss & Trope)**

*Perforación fresca:* tratada inmediatamente a poco tiempo de ocurrida la perforación bajo condiciones asépticas. Buen pronóstico.

*Perforación antigua:* no tratada inmediatamente, con infección bacteriana. Pronóstico reservado.

*Perforaciones pequeñas:* menores a un instrumento endodóntico 20, el daño mecánico a los tejidos es mínimo y presenta facilidad en su sellado. Buen pronóstico.

*Perforaciones amplias:* Realizadas durante la preparación para la colocación de postes con un daño tisular significativo y dificultad en proveer un adecuado sellado, contaminación salival o infiltración coronal a través de la restauración temporal. Pronóstico reservado.

*Perforación coronal:* coronal al nivel de la cresta ósea y la unión epitelial con mínimo daño a los tejidos de soporte y un fácil acceso. Buen pronóstico.

*Perforación crestal:* a nivel de la unión epitelial en la cresta ósea. Pronóstico reservado.

*Perforación apical:* apical a la cresta alveolar y a la unión epitelial. Buen pronóstico.

En dientes multiradiculados donde la furca es perforada, el pronóstico difiere acorde con los factores de una sola raíz. (12)

#### 2.1.4. Determinación de la presencia de una perforación

Dolor espontáneo y sangrado repentino durante la instrumentación de los canales radiculares o la preparación para postes en el diente son señales de alerta de una potencial perforación. La aparición de sangre puede provenir desde el foramen apical o de residuos de tejidos de pulpa vital.

Para mejorar la detección radiográfica se propone colocar pasta de hidróxido de calcio que es altamente radiopaca a través de la inclusión de sulfato de bario, en el canal radicular. La otra opción es sacar radiografías con instrumental radiopaco en diferentes angulaciones dentro del canal radicular. (12).

En el caso de perforaciones cretales se debe tener cuidado por la posible extrusión del material en los tejidos periodontales y causar irritación mecánica y química innecesaria.

Sin embargo esta técnica no estima el tamaño real, localización y aspectos de la lesión por ser detección en 2 dimensiones y no en 3, además de la sobre posición de estructuras anatómicas. (13).

Cuando la perforación está en una dirección vestibular o palatina es más complicado el diagnóstico radiográfico. Además se puede localizar con localizadores apicales electrónicos siendo más acuciosos en localizar la perforación que la radiografía. Otra herramienta que es útil es el microscopio dental efectiva en detectar las perforaciones de manera ortógrada y en tratamientos endodónticos quirúrgicos.

Otra manera de detectar perforaciones es con un sondaje periodontal directo en la zona del crévice periodontal. (12). La tomografía computarizada cone beam ha sido recientemente introducida como una herramienta de diagnóstico en el tratamiento endodóntico. De acuerdo con Shemesh y cols (14) TAC Cone beam muestra mayor certeza en detectar perforaciones radiculares que la radiografía digital, además de detectar fracturas verticales. (13).

### 2.1.5. Tratamiento de las perforaciones radiculares

Las perforaciones recientes que ocurren durante procedimientos operatorios o endodónticos son seguidos de hemorragia con lo que el primer paso es el control de la hemorragia con la compresión y la irrigación. Subsecuentemente la perforación debe ser sellada.

El material ideal para sellar la perforación debe cumplir con las siguientes características:

- c. Biocompatibilidad
- d. Promover la cementogénesis
- e. Costo
- f. Radiopaco
- g. Bacteriostático

Algunos de los materiales utilizados a través de los años para sellado son: amalgama, cemento fosfato, gutapercha, óxido de zinc eugenol, super EBA, chips dentinarios, AH -26, varias formulaciones de hidróxido de calcio, cavit, ionómeros de vidrio, cemento de resina, biodentin y MTA.

Las preparaciones deben ser medicadas con soluciones antibacterianas antes de sellar la perforación. Las perforaciones apicales amplias deben ser tratadas de forma similar a dientes con ápices inmaduros con un tratamiento de hidróxido de calcio para lograr una barrera de tejido duro (12).

## 2.2. MTA

MTA es un biomaterial que ha sido investigado para aplicación en endodoncia desde los comienzos de los años 90. Fue descrito por primera vez en la literatura en 1993 y fue aprobado su uso por el FDA en 1998.

### 2.2.1. Propiedades físicas, químicas y mecánicas

MTA es una mezcla de cemento de Portland refinado y óxido de bismuto, y se ha reportado que contiene trazas de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , y  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Su mayor componente, el cemento de Portland, es una mezcla entre silicato dicálcico, silicato tricálcico, aluminio tricálcico, yeso y aluminoferrito tetracálcico. Los productos con MTA contienen la mitad de yeso que contiene el cemento de

Portland y una pequeña cantidad de especies de aluminio lo que le da un mayor tiempo de trabajo (15) (16) (17).

El primer material de MTA fue descrito como un polvo fino hidrofílico compuesto principalmente por iones de fósforo y calcio, y que se le adicionó óxido de bismuto le confiere una mayor radiopacidad que la dentina. La presentación del MTA es en polvo que es mezclado con agua estéril en relación 3/1 polvo/líquido, y se recomienda dejar junto al material una bolita de algodón humedecida hasta que se asiente el material. Este material forma un gel coloidal que demora en solidificar entre 3 – 4 horas (15) (16) (17).

El MTA hidratado tiene un pH inicial de 10.2, que se eleva a 12.5, 3 horas después del mezclado (15).

El MTA consiste en un polvo gris, y fue introducido al mercado como ProRootMTA (*Dentsply Endodontics, Tulsa, OK, USA*). Posteriormente se desarrolló el MTA blanco con lo cual fueron clasificados dos clases de MTA: el tradicional MTA gris (GMTA) y blanco (WMTA). La diferencia está que en el WMTA tiene 54,9% menos de  $Al_2O_3$ , 56,5% menos de  $MgO$ , y 90,8% menos de  $FeO$ , lo que lleva a la conclusión que la reducción en el  $FeO$  conduce al cambio de coloración. El WMTA posee partículas de menor tamaño que el GMTA, y la reducción de magnesio sugiere el color más claro del WMTA. (15) (16) (17) (18)

A pesar de reducir sus componentes, estudios demuestran que las propiedades físicas como la adaptación, resistencia e infiltración no presentan grandes variaciones entre uno y otro (18).

Hay estudios que indican que el MTA forma una matriz porosa con capilares y canales de agua internos, los que aumentan si se incrementa la proporción polvo/ líquido (19).

Algunos estudios indican que el MTA tiene un proceso de fraguado prolongado que continua más allá del tiempo indicado por el fabricante. En el caso de reparaciones de furca, el MTA mejora la resistencia a la contracción a las 72 horas de fraguado en comparación a las 24 horas (20). Otro estudio, de compresión, indicó que fue necesario incrementarla fuerza de extrusión del MTA desde el día 7 hasta el día 21.

Otro informe encontró que la fuerza de retención de la perforación no se veía afectada por la preparación de GMTA con solución salina, agua estéril, o lidocaína, pero la fuerza de adhesión a la sangre contaminada en la dentina de la raíz fue significativamente menor que la observada en la dentina no contaminada.(21)

### **2.2.2. Efecto de diferentes métodos de aplicación del MTA**

El manejo del MTA ha sido visto como una de sus deficiencias (22,23). Muchos instrumentos se han utilizado para mejorar su manipulación, incluidos transfer de teflón, plugger especialmente diseñados, platinas con ranuras especiales (24) y pistolas carrier para su aplicación (25).

Una investigación comparo la aplicación del material a mano y con ultrasonido en diferentes espesores de tubos de polietileno (26) los autores utilizaron un condensador de endodoncia para la aplicación manual y una punta de ultrasonido para su comparación. La evaluación microscópica y radiográfica demostró que la mejor adaptación con menores zonas de interface fue para la técnica manual.

Una Investigación comparó el efecto de la presión de condensación y la resistencia a la compresión en la microestructura de WMTA (27). El estudio revelo que la dureza superficial disminuye cuando se aplica más presión durante la condensación del WMTA. Esto se explica por la generación de menores espacios y canales por lo que el mono bloque se vuelve más compacto lo que impide una mayor absorción de agua y por lo tanto un fraguado completo.

En resumen la información que tenemos hasta el día de hoy demuestran que el método de inserción del MTA tiene un gran impacto en sus propiedades físicas además se puede indicar que una mayor condensación no mejora sus propiedades físicas.

### **2.2.3. MTA y su aplicación en Perforación**

Pitt Ford et al (28) eran los primeros investigadores que utilizaron MTA para la reparación de perforaciones furcales. Sus estudios demostraron que el cemento se podía generar bajo la obturación de MTA y se generaba una reparación de la zona. Cuando se compara la reparación genera entre el MTA y el superEBA en perforaciones. Se observó que a los 6 meses se genera cemento reparativo sin inflamación en el MTA a diferencia de lo que ocurre con el otro material que no genera cemento en ese periodo y aún mantiene una leve inflamación en la zona Noetzel et al (29)

Al-Daafas y Al-Nazhan (30) realizaron una comparación de los efectos biológicos de GMTA con los de la amalgama como material de reparación en perros. Los resultados indicaron que el MTA genera menos inflamación y una

mayor formación de hueso en comparación con el grupo de la amalgama. Otro estudio muy similar pero que se enfoca en la inflamación en un periodo de 30 días llevo al mismo resultado. El MTA es superior. Vladimirov et al (31)

Por lo que se puede decir que el MTA produce mejores resultados histológicos en comparación con otros materiales utilizados en la actualidad para la reparación de perforaciones de furca.

En perforaciones laterales Holland et al 2001 (32) en un estudio en perros de mostro que existe aposición de cemento en un gran número de muestras tratadas con MTA en un periodo de 30 días posterior a la obturación de esta. En los 180 días, del mismo estudio, se observó formación de cemento en la mayoría de las muestras con MTA las cuales además no presentaban ningún signo de inflamación.

La reparación en conductos laterales también se puede lograr con el MTA inmediatamente a las 7 días, cuando el diente esta previamente tratado (33)

#### **2.2.4. Extrusión involuntaria del MTA**

En el caso de una obturación en perforaciones radiculares el MTA parece ser el material ideal para las reparaciones. Pero el exceso de este material no es recomendado por que puede demorar el proceso de reparación en los tejidos periodontales. Holland et. (33) estudio los límites que debía tener este material y confirmo que el material debía mantenerse en la zona del conducto tratando de evitar la sobre obturación. Ya que a pesar que el MTA presenta baja toxicidad (34), e inducir a la mineralización, los tejidos periodontales sufren un retraso en la reparación (21)(35) (36).

Una investigación reciente ha demostrado que la tasa de supervivencia y de aparición de cementoblastos no se ven afectados por una baja concentración de WMTA (37). Sin embargo, una alta concentración de material (20 mg /ml) disminuyó la viabilidad celular y genero una inhibición de la mineralización, así como la producción sialoproteína ósea por cementoblastos para la reparación de los tejidos.

Debemos recordar que el MTA en algunos estudios (38) demuestra en etapas iniciales una inflamación similar a la generada por la amalgama.

### 2.2.5. Adaptación marginal del MTA

Se define como el grado de proximidad y encadenamiento de los Materiales de relleno a una superficie dentaria, en este caso a la superficie radicular. La adaptación marginal del MTA según estudios (40) logra su mayor adaptación a los 2mm de espesor intraconducto en comparación con otros materiales como biodentine y vitremer. Otros estudios indican que a los 3 mm no existe mayor diferencia entre la adaptación marginal entre MTA y otros materiales como el irm , amalgama y super eba (41).

A continuación presentamos el desarrollo de nuestra tesis que pretende profundizar en el sellado de diferentes diámetros de perforaciones con MTA, con el fin observar el grado de extrusión de este material.

### **3. Objetivos e Hipótesis**

#### **3.1.Hipótesis.**

El aumento en el diámetro de las perforaciones genera una mayor longitud de extrusión del material de obturación.

#### **3.2.Objetivo General.**

Relacionar el diámetro de una perforación radicular con el nivel externo de extrusión de MTA, simulando las condiciones clínicas cuando la maniobra de sellado se realiza vía intraconducto.

#### **3.3.Objetivos Específicos.**

**3.3.1.** Observar y cuantificar la extrusión de material de obturación en las perforaciones con diferentes diámetros.

**3.3.2.** Evaluar microscópicamente la adaptación marginal externa generada por el MTA en diferentes diámetros de perforaciones.

**3.3.3.** Desarrollar un método para simular las condiciones periodontales en una perforación.

## 4. Materiales y Métodos

### 4.1. Materiales

Para este estudio, se utilizaron 36 raíces de premolar inferior sanos extraídos en un lapso de un mes y mantenidos en suero fisiológico. Los criterios de selección utilizados fueron:

- Premolares inferiores extraídos por indicación ortodóncica.
- Uniradiculados
- Íntegros y sin alteraciones en las superficies de estudio.
- Limpios.
- Extraídos en el lapso de un mes
- Almacenados en suero fisiológico.

Todas las muestras fueron perforadas con un instrumento peeso (del 1 al 6) (*Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suiza*).

Las muestras fueron observadas y fotografiadas con una lupa binocular (Nikon SMZ745, Japón). De cada observación microscópica, se capturó digitalmente una imagen mediante la cámara MicroPublisher RTV marca Q-Imaging. Las imágenes obtenidas fueron analizadas mediante el programa ImageJ®.

Finalmente, los datos obtenidos fueron recopilados en una base de datos mediante el programa Microsoft Excel 2010®.

### 4.2. Métodos

#### Tipo de estudio

La metodología seleccionada para este trabajo es de tipo experimental, in vitro con doble ciego y aleatorio.

#### 4.2.1. Determinación del tamaño muestral

Para la determinación de la cantidad de perforaciones artificiales necesarias para el estudio, se utilizó el método análisis de varianza a un factor, para esto se considera la probabilidad de error tipo II que es:

$$\beta = 1 - P(\text{Rechazar } H_0 / H_0 \text{ es falsa})$$

Para evaluar la probabilidad descrita anteriormente se utilizan las curvas características de operación. Estas curvas grafican la probabilidad de la ecuación anterior contra un parámetro  $\Phi$ , en el cual:

$$\Phi^2 = \frac{n \cdot D^2}{a \cdot \sigma^2}$$

Dónde:

- $\sigma^2$ : Es la varianza de la variable en estudio a nivel poblacional.
- $a$ : Es el número de grupos a evaluar.
- $n$ : Es el tamaño de la muestra por grupo.
- $D$ : Es la diferencia máxima entre dos tratamientos cualesquiera.

La unidad de estudio fue la perforación artificial realizada en cortes de 2 mm perpendiculares al eje del diente.

#### 4.2.2. Preparación de los dientes:

Este estudio utilizó 36 raíces, provenientes de 36 Premolares mandibulares, las cuales fueron extraídas por ortodoncia y mantenidas en suero por lapso de 1 mes. Los depósitos duros y el tejido blando fueron removidos con ultrasonido.

Los dientes fueron montados en bloques de acrílico transparente de 3 x 4 cms. A cada raíz montada se le realizó un corte transversal de 2mm perpendicular al eje axial del diente con la máquina cortadora (*Isomet 1000, Buehler Illinois, EEUU*) obteniendo 2 muestras de 2mm de espesor por cada diente (figura 1).



Figura 1: Imagen de corte de las muestras incluidas en cubo de acrílico

Las muestras fueron divididas aleatoriamente en 6 grupos de 12 muestras cada uno. A cada grupo se le asignó un tipo de instrumento peso (del 1 al 6) (*Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suiza*). Todas las muestras fueron perforadas con el respectivo instrumento en ambos costados del conducto (figura 2).



Figura 2: imagen de la muestra con dos perforaciones realizadas con el mismo instrumento peso

Por cada grupo, se preparó una muestra de control, la cual consistía en condensar MTA solo dentro de la perforación, verificando visualmente que el material colocado estuviera dentro de esta cubriendo toda la superficie.

Las muestras experimentales de cada grupo fueron superpuestas en una placa Petri que contenía un trozo de colágeno (aponeurosis bovina mantenida en solución de PBS) bajo la muestra con el objetivo de simular el tejido periodontal.

A continuación, se procedió a la obturación de la perforación con MTA (*ProRoot blanco, Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suiza*), preparando el polvo sobre una loseta de vidrio con agua destilada en una cantidad de 0,04 gr (*pesa analítica AA 200, Denver instrument, EEUU*) y 12,5 ul medidos con una micropipeta (*Eppendorf, Alemania*) de polvo y líquido respectivamente por cada una de las perforaciones. (figura 3)



Figura 3: pesa analítica y micropipeta Eppendorf para dosificar el MTA

Cuando la preparación presentó una consistencia de pasta después de 30 segundos de mezcla, se introdujo con una pistola de MTA cargada con todo el material y se llevó sobre las perforaciones artificiales, condensándolo por 10 segundos una de sus caras con un plugger #3 (*Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suiza*) hasta que la perforación fuera cubierta completamente en la cara visible (todas la muestras fueron manipuladas por un sólo operador). (figura 4)



Figura 4: muestra en acrílico sellada con MTA blanco en perforación artificial y preparada sobre tejido de colágeno que simula periodonto

En seguida se colocó un algodón humedecido con agua destilada y se llevó la muestra a una estufa a 37° (*Estufa ED-53, WTC Binder*), por 24 horas para generar el fraguado del material. (figura 5)



Figura 5: muestras con algodón humector

Posteriormente las muestras fueron observadas y fotografiadas en la zona en contacto con el colágeno con una lupa binocular (Nikon SMZ745, Japón). De cada observación microscópica, se capturó digitalmente una imagen mediante la cámara MicroPublisher RTV marca Q-Imaging. Capturándose dos imágenes, una imagen de la muestra axial y otra frontal (figura 6).



Figura 6: Lupa y cámara donde se procesaron las imágenes digitalmente

### 4.2.3. Procesamiento de las imágenes

Las imágenes obtenidas se analizaron por el programa ImageJ®. Dicho programa procesador de imágenes, basado en Java, permite editar, guardar y trabajar con imágenes de todo tipo de formato, pudiendo así, establecer medidas en base a la equivalencia de unidades de medida y bits de la imagen, midiendo exactamente la longitud y área de extrusión del MTA

Para tal efecto, se realizaron las imágenes fueron observadas y medidas en dos imágenes diferentes. En el corte axial imagen frontal se midió : La extrusión del material sellador , la adaptación marginal y su área de extrusión respectiva (figura 7) . En el corte axial imagen lateral se observó longitud de extrusión del material sellador y su área de extrusión (figura 8).



Figura 7: corte axial con imagen frontal donde se analiza extrusión, adaptación marginal y el área de la extrusión

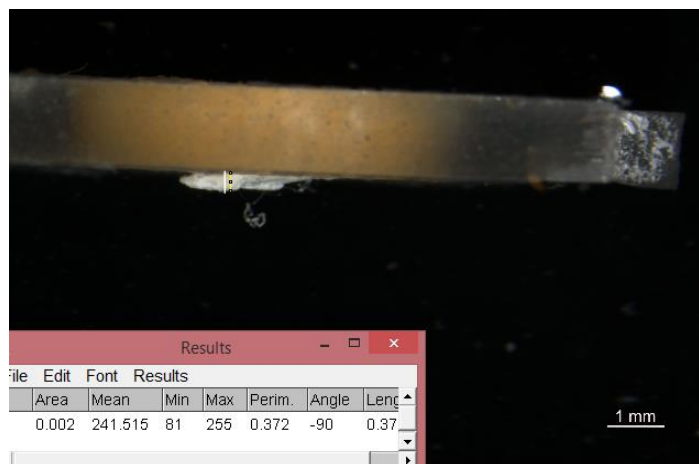


Figura 8: corte axial con imagen lateral donde se analiza longitud de extrusión y su área de extrusión

## 5. Recolección de datos

### 5.1 Variables

Variable		Tipo	
Extrusión de MTA	Cuantitativa	Continua	Dependiente
Adaptación Marginal	Cualitativa	Dicotómica	Dependiente

Tabla I: Variables a analizar

#### 5.1.1 Definiciones Conceptuales y operacionales

##### A) Extrusión de MTA:

Definición conceptual:

Salida de material para sellar una perforación desde el interior del conducto hacia los tejidos periapicales externos .

Definición operacional:

Salida de material dentro de los distintos diámetros de perforaciones artificiales

##### B) Adaptación Marginal de MTA

Definición conceptual:

Unión sin interface del material de sellado a los márgenes dentinarios de una perforación

Definición operacional:

Unión con interface del material de sellado a los márgenes de la perforación artificial.

Posteriormente se trasladaron las medidas a una base de datos en el programa Microsoft Excel 2010, en el cual se calcularon los valores según el estadístico de la Universidad de Valparaíso.

## 5. Resultados

A continuación los resultados se presentan por cada una de los instrumentos peeso. En cada tabla se entrega el porcentaje de adaptación marginal y de Extrusión del material sellador (de manera dicotómica). Además cada tabla presenta el área promedio de extrusión al corte axial imagen frontal, del material sellado (medido en  $\text{mm}^2$ ), Longitud promedio de extrusión, corte axial imagen lateral (medido en mm) y finalmente el área de extrusión, corte axial imagen lateral (medido en  $\text{mm}^2$ ).

N°Peeso	% extrusión	% adaptación marginal	Área de extrusión (imagen frontal)	Longitud de extrusión	Área de extrusión (imagen lateral)
1	58%	67%	1.309 $\text{mm}^2$	0.310mm	0.270 $\text{mm}^2$
2	33%	58%	1.950 $\text{mm}^2$	0.232mm	0.190 $\text{mm}^2$
3	33%	58%	2.640 $\text{mm}^2$	0.223mm	0.290 $\text{mm}^2$
4	58%	75%	2.107 $\text{mm}^2$	0.221mm	0.250 $\text{mm}^2$
5	83%	75%	3.687 $\text{mm}^2$	0.230mm	0.314 $\text{mm}^2$
6	100%	100%	4.577 $\text{mm}^2$	0.284mm	0.519 $\text{mm}^2$

Tabla 1 : Resultados extrusión en perforaciones en diferentes peeso

Para el desarrollo estadístico se plantearon 5 preguntas investigativa, las cuales se validaron de la siguiente manera:

Preguntas investigativas:

1. ¿Existen diferencias estadísticamente significativas en las áreas de extrusión para los grupos que si y no extruyeron?  
Para responder esta pregunta se realizó la prueba no paramétrica de rangos de wilcoxon, ya que la muestra no cumplió con los supuestos de normalidad (\*), así:

Two-sample Wilcoxon rank-sum (Mann-Whitney) test

extrusion	obs	rank sum	expected
No	24	493.5	876
Si	48	2134.5	1752
combined	72	2628	2628

unadjusted variance      7008.00  
 adjustment for ties      -0.68  


---

 adjusted variance      7007.32

Ho: area(extrus~n==No) = area(extrus~n==Si)  
 z = -4.569  
 Prob > |z| = 0.0000

Así con un p-valor 0.0000 se rechaza la hipótesis nula por lo que los grupos provienen de poblaciones con medianas distintas.

(\*) = adjunto imagen del resultado de la prueba shapiro-wilk

. by extrusion, sort : swilk area

-> extrusion = No

Shapiro-Wilk W test for normal data

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
area	24	0.68950	8.375	4.333	0.00001

-> extrusion = Si

Shapiro-Wilk W test for normal data

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
area	48	0.91219	3.999	2.949	0.00159

2. ¿Existen diferencias estadísticamente significativas en las áreas de extrusión para los grupos que sí y no adaptaron?

Para responder esta pregunta se realizó la prueba no paramétrica de rangos de wilcoxon, ya que la muestra no cumplió con los supuestos de normalidad (\*), así:

Two-sample Wilcoxon rank-sum (Mann-Whitney) test

adaptacion	obs	rank sum	expected
No	19	473.5	693.5
Si	53	2154.5	1934.5
combined	72	2628	2628

unadjusted variance      6125.92

adjustment for ties      -0.59

adjusted variance      6125.33

Ho: area(adapta~n==No) = area(adapta~n==Si)

z = -2.811

Prob > |z| = 0.0049

Así con un p-valor 0.0049 se rechaza la hipótesis nula por lo que los grupos provienen de poblaciones con medianas distintas.

(\*) = adjunto imagen del resultado de la prueba shapiro-wilk.

. by adaptacion, sort: swilk area

-> adaptacion = No

Shapiro-Wilk W test for normal data

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
area	19	0.85096	3.402	2.460	0.00695

-> adaptacion = Si

Shapiro-Wilk W test for normal data

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
area	53	0.91490	4.191	3.066	0.00108

### 3. ¿existe asociación entre la extrusión y la adaptación?

Para esto se realizó el estadístico  $\chi^2$  el cual se resume en la siguiente tabla:

extrusion (1 si 0 no)	adaptacion marginal ( 1 si 0 no)		Total
	No	Si	
No	12	12	24
Si	7	41	48
Total	19	53	72

Pearson chi2(1) = 10.3317 Pr = 0.001  
 Fisher's exact = 0.004  
 1-sided Fisher's exact = 0.002

Al ver el p-valor (0.001) podemos darnos cuenta que se rechaza la hipótesis nula por lo que ambas variables son dependientes.

4. ¿Existen diferencias en el área de extrusión para los distintos “Peso”?
- Para responder esta pregunta primero hacemos un análisis descriptivo del valor medio del área de extrusión para los distintos “Peso”, esto lo vemos en la siguiente tabla:

---

-> tamano = Peeso 1

Variable	Type	Obs	Mean	[95% Conf. Interval]	
area	Arithmetic	12	1.372917	.5743452	2.171488
	Geometric	12	1.053993	.6745985	1.646758
	Harmonic	12	.8768346	.6521476	1.337727

---

-> tamano = Peeso 2

Variable	Type	Obs	Mean	[95% Conf. Interval]	
area	Arithmetic	12	1.031	.5181284	1.543872
	Geometric	12	.8403009	.5670387	1.245251
	Harmonic	12	.729043	.5655156	1.025615

---

-> tamano = Peeso 3

Variable	Type	Obs	Mean	[95% Conf. Interval]	
area	Arithmetic	12	2.512833	1.601916	3.423751
	Geometric	12	2.139416	1.452154	3.15194
	Harmonic	12	1.807112	1.304927	2.937621

---

-> tamano = Peeso 4

Variable	Type	Obs	Mean	[95% Conf. Interval]	
area	Arithmetic	12	1.801667	1.469588	2.133746
	Geometric	12	1.722631	1.397566	2.123304
	Harmonic	12	1.629899	1.301972	2.17863

---

-> tamano = Peeso 5

Variable	Type	Obs	Mean	[95% Conf. Interval]	
area	Arithmetic	12	3.750417	2.242217	5.258616
	Geometric	12	3.249901	2.330692	4.531638
	Harmonic	12	2.926901	2.331351	3.931115

---

-> tamano = Peeso 6

Variable	Type	Obs	Mean	[95% Conf. Interval]	
area	Arithmetic	12	4.577167	4.012319	5.142014
	Geometric	12	4.495957	3.960794	5.103429
	Harmonic	12	4.413879	3.9103	5.066337

---

Ahora nos queda comprobar los supuestos de normalidad, a saber:

Tamaño	n	D-H	P-value	asy.	P-value
Peeso 1	12	13.1082	0.0014	12.1912	0.0023
Peeso 2	12	9.8320	0.0073	8.0718	0.0177
Peeso 3	12	1.3297	0.5144	0.8989	0.6380
Peeso 4	12	1.2505	0.5351	0.0615	0.9697
Peeso 5	12	15.2366	0.0005	3.3940	0.1832
Peeso 6	12	0.7202	0.6976	0.7902	0.6736

Al mirar la tabla nos percatamos que solo los tamaños de peso 3, 4 y 6 siguen una distribución normal, por lo que el análisis será no paramétrico mediante la prueba de kruskal wallis.

Kruskal-Wallis equality-of-populations rank te

tamano	Obs	Rank Sum
Peeso 1	12	254.00
Peeso 2	12	184.00
Peeso 3	12	473.50
Peeso 4	12	379.00
Peeso 5	12	599.50
Peeso 6	12	738.00

chi-squared = 41.704 with 5 d.f.  
probability = 0.0001

chi-squared with ties = 41.708 with 5 d.f.  
probability = 0.0001

Con un p-valor de 0.0001 nos damos cuenta que existen diferencias estadísticamente significativas en las medianas de área en los grupos

estudiados. Ahora bien, para poder determinar cuáles son los tamaños que presentan mayores diferencias efectuamos la corrección de Bonferroni, la cual se resume en la siguiente tabla:

Comparison of area extrusion (mm<sup>3</sup>) by Tamaño  
(Bonferroni)

Row Mean- Col Mean	Peeso 1	Peeso 2	Peeso 3	Peeso 4	Peeso 5
Peeso 2	-.341917 1.000				
Peeso 3	1.13992 0.645	1.48183 0.138			
Peeso 4	.42875 1.000	.770667 1.000	-.711167 1.000		
Peeso 5	2.3775 0.001	2.71942 0.000	1.23758 0.427	1.94875 0.012	
Peeso 6	3.20425 0.000	3.54617 0.000	2.06433 0.006	2.7755 0.000	.82675 1.000

De la tabla anterior podemos ver que no existen diferencias estadísticamente significativas entre peso 1 vs 2, 3 y 4 pero si con 5 y 6. Situación similar peso 2, que no presenta diferencias con peso 3 y 4 pero si con 5 y 6. Peso 3 solo presenta diferencias estadísticamente significativas con 6. (Grafico1)

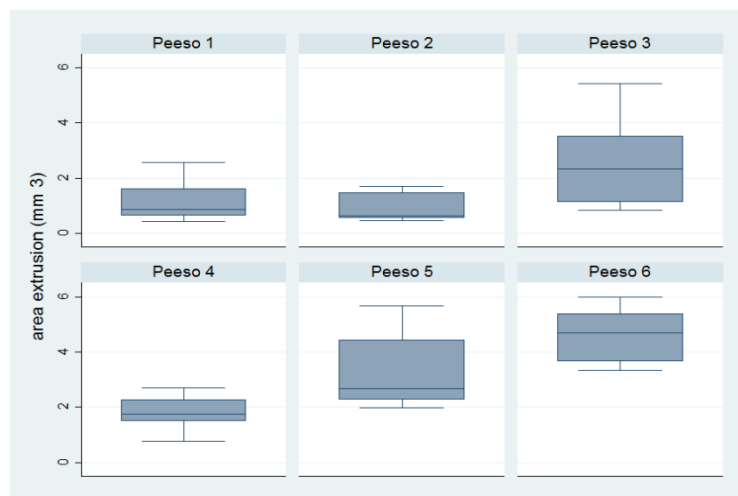


Grafico 1: Área de extrusión en los diferentes Peeso

## 6. Discusión

Cuando hablamos de la reparación de una perforación radicular no podemos olvidar que hubo muchas pruebas y estudios con diversos materiales, muchos de los cuales no lograron solucionar problema. Hoy en día, la evidencia indica que el material a elección en casos de perforaciones radiculares es el MTA. Sin embargo existen algunas situaciones en las que los clínicos abusan de los beneficios que este material nos proporciona.

Existen algunos casos de sellado radicular en donde al existir una perforación de gran tamaño, el MTA no logra abarcar toda la cavidad por lo cual se extruye sin lograr una completa adaptación, lo que generaría la acumulación de una cantidad considerable de material sellador en los tejidos periapicales lo que favorece la inflamación e impide la reparación de la zona lesionada. (21)(29)(36)(36)(37)

Lo que se propuso en este estudio fue conocer la relación entre el diámetro de la perforación con la longitud de extrusión, el área de extrusión y la adaptación marginal del material a la perforación. Esto ayudaría al clínico a conocer parámetros concretos para determinar así un diámetro de perforación aproximado donde se podría oportunamente reemplazar el tratamiento ortógrado por uno quirúrgico.

De los resultados obtenidos podemos afirmar que los parámetros de comparación de los valores: entre extruidos y no extruidos, entre adaptados y no adaptados, y finalmente entre adaptación y extrusión son estadísticamente significativos por lo tanto existen diferencias demostrables entre ellos.

Al analizar los datos de adaptación se puede observar que 53 muestras, lo que representa el 74% del total presentan adaptación marginal. De este valor se puede desglosar que la mayoría pertenecía al grupo de las muestras que habían extruido. La explicación es que para ser extruido debe existir una adaptación del material a los márgenes de la perforación. Sin embargo nuestro modelo experimental tiene la limitación que no permite conocer la adaptación interna sólo en sus márgenes por lo que nos basamos en un grosor de perforación de 2 mm para asegurarnos que exista un porcentaje de adaptación interna. (40 )

Con respecto a la extrusión de material podemos indicar que este fenómeno se presenta en 48 muestras lo que representa un 67% del total. Este valor nos indica que la extrusión de MTA tiene una gran probabilidad de ocurrir. Dentro de estas muestras podemos indicar que donde existió la mayor extrusión fue en las imágenes frontales donde las peeso 5 y 6, presentaron una mayor diferencia con respecto a los otros 4 grupos. En las muestras de las peeso 1, 2, 3 y 4 existió un

incremento gradual de los valores, pero que genera una diferencia estadísticamente significativa, del grupo 5 en adelante. Al analizar el resultado podríamos inferir que el diámetro de una peeso 5 (1,50mm) en adelante no lograría una retención suficiente del material. sin embargo estas condiciones son invitro por lo tanto los resultados se podrían ver clínicamente alterados. Hay que considerar además que la viscosidad del material de sellado queda muchas veces a criterio del clínico sin una preparación estándar lo que también puede alterar los resultados

Por otra parte los valores de longitud de extrusión , corte axial imagen lateral , no presentan grandes variaciones. Los valores se encuentran en un rango entre: 0.221 y el 0.31 mm de longitud entre los diferentes instrumentos peeso. Esto se podría explicar por el modelo experimental utilizado, el cual presenta un límite definido por el colágeno y la placa Petri. Esto podría estar actuando como una barrera para el MTA. cabe destacar que el modelo utilizado está diseñado para simular perforaciones en raíces que no presenta lesiones periapicales.

Cabe destacar que el desarrollo del procedimiento fue realizado por el mismo operador, el cual fue calibrado para realizar una presión similar sobre todas las muestras con el fin de que se lograra una mayor precisión en el momento de preparación

Podemos indicar también que este estudio sólo se limita a un modelo de perforación circular. Lo cual no es representativo de todas las formas de perforaciones existentes. Pero al no existir otros estudios similares se decidió utilizar un modelo con este tipo de perforación radicular con el fin de marcar un punto de inicio para posteriores investigaciones con diferentes formas y sus variados tamaños respectivos.

Otro tema influyente en el diseño experimental es la consistencia de preparación del MTA para cada muestra ya que, como se mencionó con anterioridad, su preparación clínica no tiene una estandarización muy rigurosa y muchas veces queda al criterio del mismo clínico. Es por este motivo que para este modelo se realizó una estandarización estricta de las cantidades indicadas por el fabricante.

Cabe destacar que existen pocas publicaciones sobre el tamaño y la forma de las perforaciones radiculares y su influencia en la capacidad de tener un manejo clínico predecible. Esto a pesar de ser señalado como un factor relevante para el manejo y tratamiento. (8)(9) Así también, a pesar de que tenemos los

medios imagenológicos para analizar las perforaciones(39)(42),, no existe una clasificación adecuada en la bibliografía para los tamaños de estas, lo que hace que hace de este trabajo un investigación original.

Una limitante que podemos mencionar es que el estudio no logra cuantifican en cantidad definida del material extruido. Si bien el modelo de estudio permitió conocer hasta cuánto avanza el material, en largo como en ancho, no se logra conocer la cantidad de material que sale de la perforación en gramos. Esto debido que las cantidades de material en algunos casos eran sumamente pequeñas lo que dificultaba su cuantificación.

La utilización de MTA blanco marca Densply solo responde a una limitante del mercado, debido a que en el momento en que se realizó el estudio no existía a la venta el mismo producto en su presentación gris. Sin embargo para nuestro modelo experimental ambos MTA sirven(43)(16)

Otros estudios han comprobado la capacidad de sellado del MTA por lo que nuestra investigación sólo se limita a conocer la relación que existe entre el tamaño de la perforación y la longitud y área del material sellador extruido además de la adaptación del material sellador a los márgenes externos de la perforación. Como sugerencia en una segunda etapa de la línea investigativa se podría analizar la relación entre el tamaño de la perforación y la capacidad de infiltración del material.

En base al estudio realizado podemos indicar la necesidad de continuar investigando en la relación a la forma y el tamaño en las extrusiones de MTA. Además se debe analizar dos situaciones adicionales que arrojo la investigación. En primer lugar el hecho que la cantidad de MTA que se coloca en perforaciones con lesiones radiculares podría tener una variación en los volúmenes de material extruido, si lo comparamos con nuestro modelo basado en perforaciones invitro el cual no simula una lesión radicular. En segundo lugar la consistencia o la forma para mejorar la dosificación del material para lograr una consistencia uniforme. no solo en futuras investigaciones sino también en la experiencia clínica diaria.

## 7. Conclusiones

- 7.1. A medida que aumenta el diámetro no existe una mayor longitud de extrusión. Sin embargo hay un aumento de la extrusión sobrepasando los márgenes laterales de la perforación, para peso de mayor diámetro.
- 7.2. El comportamiento de la extrusión en relación con los diferentes diámetros se manifiesta en valores muy similares, sin presentar diferencias estadísticamente significativas, hasta llegar a las peso 5 que si demuestra una mayor extrusión de material por los márgenes laterales de la perforación.
- 7.3. El área de extrusión fue mayor en la peso 5 y la peso 6 con valores que alcanzan los 3,681 mm<sup>2</sup> y 4,577 mm<sup>2</sup> respectivamente y son estadísticamente significativos; el fenómeno de extrusión de material se observó en un 67% del total de muestras ; y el fenómeno de adaptación de material se observó en 53% del total. Por lo que el fenómeno de la extrusión de material se expresa en un 83% en las peso 5 y en un 100% en las peso 6 por lo que se podría recomendar la realización de tratamiento quirúrgico si el diámetro de la perforación alcanza el tamaño de una peso 5. Por otra parte en los cortes axiales imagen lateral el MTA blanco presenta una extrusión en longitud máxima de 0,310 mm y mínima de 0,221mm entre las diferentes peso. Lo que indicaría que no existe una gran diferencia por lo que el colágeno actuaría como una matriz de contención.
- 7.4. La adaptación marginal se logra en un 74% del total de las muestras lo que indicaría que el material logra una adaptación marginal en los bordes de la perforación.
- 7.5. El método que se utilizó para simular las condiciones externas a la perforación se desarrolló con éxito para perforaciones radiculares sin lesión apical.

## 8. Bibliografía

- 1- Alhadainy HA. Root perforations. A review of literature. Oral Surg Oral Med Oral Pathol. 1994;78(3):368-74.
- 2- Seltzer S, Sinai I, August D. Periodontal effects of root perforations before and during endodontic procedures. J Dent Res 1970;49:332–9.
- 3- EIDeeb ME, EIDeeb M, Tabibi A, Jensen JR. An evaluation of the use of amalgam, Cavit, and calcium hydroxide in the repair of furcation perforations. J Endod 1982;8:459–66.
- 4- Jew RCK, Weine FS, Keene JJ, Smulson MH. A histologic evaluation of periodontal tissues adjacent to root perforations filled with Cavit. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1982;54:124 –35.
- 5- Benenati FW, Roane JB, Biggs JT, Simon JH. Recall evaluation of iatrogenic root perforations repaired with amalgam and gutta-percha. J Endod 1986;12:161– 6.
- 6- Lee, S.; Monsef, M.; Torabinejad, M.; (1993). Sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforations. J. Endod., 19 (11):541-4
- 7- Roberts HW, Toth JM, Berzins DW, Charlton DG. Mineral trioxide aggregate material use in endodontic treatment: a review of the literature. Dent Mater. 2008;24(2):149-64
- 8- Tsesis I, Fuss Z. Diagnosis and treatment of accidental root perforations. Endodontic Topics 2006, 13, 95–107.
- 9- Fuss Z, Trope M. Root perforations: classification and treatment choices based on prognostic factors. Endod Dent Traumatol. 1996 Dec;12(6):255-64.
- 10- Ruddler CJ. Managing Endodontic Perforations [en línea] 2012 - Advanced Endodontics.
- 11- Regan J ,Witherspoon D. Surgical repair of root and tooth perforations . Endodontic Topics 2005, 11, 152–178
- 12- Igor tsesis & Zvi fuss Diagnosis and treatment of accidental root perforations Endodontic Topics 2006 , 13, 95–107

- 13- Haghanifar, S., Moudi, E., Mesgarani, A., Bijani, A., & Abbaszadeh, N. (2014). A comparative study of cone-beam computed tomography and digital periapical radiography in detecting mandibular molars root perforations. *Imaging science in dentistry*, 44(2), 115-119.
- 14- Shemesh, H., Cristescu, R. C., Wesselink, P. R., & Wu, M. K. (2011). The use of cone-beam computed tomography and digital periapical radiographs to diagnose root perforations. *Journal of endodontics*, 37(4), 513-516.
- 15- Roberts, H. W., Toth, J. M., Berzins, D. W., & Charlton, D. G. (2008). Mineral trioxide aggregate material use in endodontic treatment: a review of the literature. *Dental Materials*, 24(2), 149-164.
- 16- Parirokh, M., & Torabinejad, M. (2010). Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review—part I: chemical, physical, and antibacterial properties. *Journal of endodontics*, 36(1), 16-27.
- 17- Torabinejad, M., & Parirokh, M. (2010). Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review—part II: leakage and biocompatibility investigations. *Journal of endodontics*, 36(2), 190-202.
- 18- Hamad, H. A., Tordik, P. A., & McClanahan, S. B. (2006). Furcation perforation repair comparing gray and white MTA: a dye extraction study. *Journal of endodontics*, 32(4), 337-340.
- 19- Fridland, M., & Rosado, R. (2003). Mineral trioxide aggregate (MTA) solubility and porosity with different water-to-powder ratios. *Journal of Endodontics*, 29(12), 814-817.
- 20- Sluyk, S. R., Moon, P. C., & Hartwell, G. R. (1998). Evaluation of setting properties and retention characteristics of mineral trioxide aggregate when used as a furcation perforation repair material. *Journal of Endodontics*, 24(11), 768-771.
- 21- VandeWeele RA, Schwartz SA, Beeson TJ. Effect of blood contamination on retention characteristics of MTA when mixed with different liquids. *J Endod* 2006;32:421–4.
- 22- Chng HK, Islam I, Yap AU, Tong YW, Koh ET. Properties of a new root-end filling material. *J Endod* 2005;31:665–8.
- 23- Budig CG, Eleazer PD. In vitro comparison of the setting of dry ProRoot MTA by moisture absorbed through the root. *J Endod* 2008;34:712–4.
- 24- Lee ES. A new mineral trioxide aggregate root-end filling technique. *J Endod* 2000; 26:764–5.

25- Levenstein H. Obturating teeth with wide open apices using mineral trioxide aggregate: a case report. SADJ (South Africa Dental Journal) 2002;57:270–3.

26- Aminoshariae A, Hartwell GR, Moon PC. Placement of mineral trioxide aggregate using two different techniques. J Endod 2003;29:679–82.

27- Ballal S, Venkateshbabu N, Nandini S, Kandaswamy D. An in vitro study to assess the setting and surface crazing of conventional glass ionomer cement when layered over partially set mineral trioxide aggregate. J Endod 2008;34:478–80.

28- Ford TR, Torabinejad M, McKendry DJ, Hong CU, Kariyawasam SP. Use of mineral trioxide aggregate for repair of furcal perforations. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 1995;79:756–63.

29- Noetzel J, Ozer K, Reissbauer BH, et al. Tissue responses to an experimental calcium phosphate cement and mineral trioxide aggregate as materials for furcation perforation repair: a histological study in dogs. Clin Oral Investig 2006;10: 77–83.

30- Al-Daafas A, Al-Nazhan S. Histological evaluation of contaminated furcal perforation in dogs' teeth repaired by MTA with or without internal matrix. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2007;103:e92–9.

31- Vladimirov SB, Stamatova IV, Atanasova PK, Baltadjiev G, Borisov I. Early results of the use of ProRoot MT and Titan cement for furcation perforation repair: a comparative experimental study. Folia Med (Plovdiv) 2007;49:70–4.

32- Holland R, Filho JA, de Souza V, Nery MJ, Bernabe´ PF, Junior ED. Mineral trioxide aggregate repair of lateral root perforations. J Endod 2001;27:281–4.

33- Holland R, Bisco Ferreira L, de Souza V, Otoboni Filho JA, Murata SS, Dezan E Jr. Reaction of the lateral periodontium of dogs' teeth to contaminated and noncontaminated perforations filled with mineral trioxide aggregate. J Endod 2007;33:1192–7.

34-Torabinejad, M., Hong, C. U., Ford, T. P., & Kettering, J. D. (1995). Cytotoxicity of four root end filling materials. *Journal of Endodontics*, 21(10), 489–492.

35- Camilleri J, Montesin FE, Brady K, Sweeney R, Curtis RV, Pitt Ford TR. The constitution of mineral trioxide aggregate. Dent Mater 2005;21:297–303.

36- Danesh G, Dammaschke T, Gerth HUV, Zandbiglari T, Schöfer E. A comparative study of selected properties of ProRoot mineral trioxide aggregate and two Portland cements. Int Endod J 2006;39:213–9.

37- Hakki SS, Bozkurt SB, Hakki EE, Belli S. Effects of mineral trioxide aggregate on cell survival, gene expression associated with mineralized tissues, and biomineralization of cementoblasts. *J Endod* 2009;35:513–9.

38- Sumer M, Muglali M, Bodrumlu E, Guvenc T. Reactions of connective tissue to amalgam, intermediate restorative material, mineral trioxide aggregate, and mineral trioxide aggregate mixed with chlorhexidine. *J Endod* 2006;32:1094–6.

39-Haghanifar, S., Moudi, E., Mesgarani, A., Bijani, A., & Abbaszadeh, N. (2014). A comparative study of cone-beam computed tomography and digital periapical radiography in detecting mandibular molars root perforations. *Imaging science in dentistry*, 44(2), 115-119

40- Soundappan, S., Sundaramurthy, J. L., Raghu, S., & Natanasabapathy, V. (2014). Biodentine versus Mineral Trioxide Aggregate versus Intermediate Restorative Material for Retrograde Root End Filling: An Invitro Study. *Journal of Dentistry (Tehran, Iran)*, 11(2), 143.

41- Oliveira, H. F., Alencar, A. H. G., Figueiredo, J. A. P., Guedes, O. A., de Almeida Decurcio, D., & Estrela, C. (2013). Evaluation of marginal adaptation of root-end filling materials using scanning electron microscopy. *Iranian endodontic journal*, 8(4), 182.

42- Shokri A, Eskandarloo A, Noruzi-Gangachin M, Khajeh S. Detection of root perforations using conventional and digital intraoral radiography, multidetector computed tomography and cone beam computed tomography *Restor Dent Endod*. 2015 Feb;40(1):58-67.

43- Hamad, H. A., Tordik, P. A., & McClanahan, S. B. (2006). Furcation perforation repair comparing gray and white MTA: a dye extraction study. *Journal of endodontics*, 32(4), 337-340.